



**Уральский  
федеральный  
университет**

имени первого Президента  
России Б.Н. Ельцина

**Химико-  
технологический  
институт**

**М. А. БЕЗМАТЕРНЫХ  
Н. П. БЕЛЬСКАЯ  
В. С. МОКРУШИН**

# **ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ, БИОТЕХНОЛОГИЯ:**

**СОДЕРЖАНИЕ И ОФОРМЛЕНИЕ  
ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ  
РАБОТЫ БАКАЛАВРА**

**Учебно-методическое пособие**

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
УРАЛЬСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ИМЕНИ ПЕРВОГО ПРЕЗИДЕНТА РОССИИ Б. Н. ЕЛЬЦИНА

М. А. Безматерных,  
Н. П. Бельская  
В. С. Мокрушин

ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ,  
БИОТЕХНОЛОГИЯ:  
СОДЕРЖАНИЕ И ОФОРМЛЕНИЕ  
ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ  
РАБОТЫ БАКАЛАВРА

Учебно-методическое пособие

Рекомендовано методическим советом УрФУ  
для студентов, обучающихся по программе бакалавриата  
по направлениям подготовки 18.03.01 «Химическая технология»,  
19.03.01 «Биотехнология»

Екатеринбург  
Издательство Уральского университета  
2017

УДК 542(07)  
ББК 24.2я7  
Б398

Рецензенты:  
лаборатория гетероциклических соединений  
Института органического синтеза УрО РАН  
(заведующий лабораторией кандидат химических наук Г. Л. Русинов);  
В. Г. Бурындин, доктор технических наук, профессор,  
профессор кафедры технологий целлюлозно-бумажных производств  
и переработки полимеров  
(Уральский государственный лесотехнический университет)  
Научный редактор  
кандидат химических наук Е. В. Садчикова

**Безматерных, М. А.**  
Б398 Химическая технология, биотехнология: содержание и оформление выпускной квалификационной работы бакалавра : учеб.-метод. пособие / М. А. Безматерных, Н. П. Бельская, В. С. Мокрушин ; [науч. ред. Е. В. Садчикова] ; М-во образования и науки Рос. Федерации, Урал. федер. ун-т. — Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2017. — 132 с.

ISBN 978-5-7996-2146-9

В учебно-методическом пособии содержатся общие требования к структуре и содержанию выпускных квалификационных работ бакалавров. Изложены правила оформления пояснительных записок и графических документов в соответствии с нормативно-технической документацией. Приведены методики и примеры основных технохимических расчетов.

Рекомендуется студентам, обучающимся по программе бакалавриата, для подготовки выпускной квалификационной работы и для выполнения междисциплинарных курсовых проектов.

УДК 542(07)  
ББК 24.2я7

# ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>ПРЕДИСЛОВИЕ .....</b>	<b>5</b>
<b>ВВЕДЕНИЕ .....</b>	<b>7</b>
<b>1. ВИДЫ ВКР БАКАЛАВРА, РАЗДЕЛЫ.....</b>	<b>9</b>
1.1. Научно-исследовательские ВКР бакалавра.....	12
1.1.1. Введение.....	13
1.1.2. Литературный обзор .....	15
1.1.3. Первая глава.....	15
1.1.4. Вторая глава.....	17
1.1.5. Выводы.....	20
1.1.6. Технологическая часть.....	20
1.1.7. Разделы, выполняемые под руководством консультантов.....	25
1.1.8. Заключительные разделы ВКР.....	26
1.2. Технологические ВКР бакалавра .....	26
1.2.1. Введение.....	27
1.2.2. Литературный обзор .....	27
1.2.3. Описание технологического процесса .....	28
1.2.4. Расчет материального баланса .....	32
1.2.5. Технологический расчет.....	36
1.2.6. Другие разделы ВКР .....	43
<b>2. ПРИМЕРЫ ОПИСАНИЯ СТАДИЙ ОСНОВНОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА, МАТЕРИАЛЬНЫХ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РАСЧЕТОВ.....</b>	<b>45</b>
2.1. Примеры описания технологического процесса .....	45
2.2. Примеры расчетов материального баланса.....	56
2.3. Примеры технологических расчетов .....	94
<b>3. БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ: ПРАВИЛА СОСТАВЛЕНИЯ .....</b>	<b>96</b>
<b>4. ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ ГРАФИЧЕСКИХ ДОКУМЕНТОВ.....</b>	<b>104</b>
<b>5. ПУБЛИЧНАЯ ЗАЩИТА ВКР .....</b>	<b>106</b>
<b>СПИСОК БИБЛИОГРАФИЧЕСКИХ ССЫЛОК .....</b>	<b>107</b>

<b>ПРИЛОЖЕНИЯ</b> .....	109
<i>Приложение 1. Образец титульного листа выпускной квалификационной работы бакалавра</i> .....	109
<i>Приложение 2. Шаблон задания на выпускную квалификационную работу бакалавра</i> .....	110
<i>Приложение 3. Пример оформления содержания научно-исследовательской работы бакалавра</i> .....	113
<i>Приложение 4. Пример оформления содержания технологической работы бакалавра</i> .....	114
<i>Приложение 5. Пример оформления реферата ВКР бакалавра</i> .....	115
<i>Приложение 6. Пример составления перечня листов графических документов по классификатору ЕСТД</i> .....	116
<i>Приложение 7. Пример оформления перечня условных сокращений</i> .....	117
<i>Приложение 8. Пример оформления таблицы «Характеристика сырья, материалов и полупродуктов»</i> .....	118
<i>Приложение 9. Пример изображения химической схемы производства</i> .....	119
<i>Приложение 10. Пример оформления технологической схемы (блок-схемы) процесса</i> .....	120
<i>Приложение 11. Условные обозначения оборудования на аппаратурных схемах</i> .....	124
<i>Приложение 12. Пример оформления элементов аппаратурной схемы</i> .....	125
<i>Приложение 13. Пример оформления таблицы «Контрольные точки производства»</i> .....	128
<i>Приложение 14. Образец оформления ведомости-спецификации аппаратуры и КИПиА</i> .....	129
<i>Приложение 15. Пример оформления аппаратурной схемы</i> .....	130

## ПРЕДИСЛОВИЕ

В соответствии с законом Российской Федерации «Об образовании» итоговая государственная аттестация выпускника, завершающего обучение по основной образовательной программе высшего образования в учебном заведении, является обязательной и включает государственный экзамен и защиту выпускной квалификационной работы (ВКР) [1]. Итоговые аттестационные испытания предназначены для определения практической и теоретической подготовленности будущего бакалавра к выполнению профессиональных задач, установленных Федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования (ФГОС ВО) и основной образовательной программой по направлению (специальности), и завершаются выдачей диплома государственного образца, свидетельствующего об уровне образования и квалификации.

Выпускная квалификационная работа — самостоятельное научное или прикладное исследование, представляемое в виде пояснительной записки и необходимого демонстрационного (графического) материала.

Для того чтобы студенты могли успешно выполнить и защитить ВКР, в данном учебно-методическом пособии предлагается схема последовательности действий, которой следует руководствоваться при написании утвержденных разделов ВКР.

Кроме того, в пособии приводятся общие методики и конкретные примеры проведения технохимических расчетов — материального баланса и технологического расчета основного и вспомогательного оборудования, а также примеры описания химического эксперимента.

Важнейшая часть выпускной работы — разработка технологической (аппаратурной) схемы, которая является ответственным этапом проектирования производства нового вида продукции или

нового технологического процесса. Проект должен обеспечить надежную, безопасную работу создаваемой схемы, отвечающей современным требованиям, которые предъявляются к химическим или биотехнологическим производствам с учетом их оптимальных технико-экономических показателей. Проектирование технологической схемы осуществляется в основном инженерами-технологами с участием специалистов по оснащению схемы энергоносителями и средствами КИПиА. Таким образом, будущая успешная эксплуатация проектируемой схемы в первую очередь зависит от квалифицированной и грамотной работы главного автора проекта — технолога.

Первые практические навыки в проектировании технологических схем студенты приобретают именно в процессе курсового проектирования и выполнения выпускной квалификационной работы, и задачей пособия является конкретная помощь студентам в разработке и составлении технологических (аппаратурных) схем химических и биотехнологических производств.

Большую работу при написании данного пособия проводил заслуженный химик Российской Федерации, профессор, доктор химических наук Владимир Степанович Мокрушин. К сожалению, Владимир Степанович ушел из жизни еще во время работы над пособием. Но все его идеи, наработки и комментарии вошли в данное пособие.

## ВВЕДЕНИЕ

Основные образовательные программы высшего образования реализуются по уровням. В Российской Федерации устанавливаются следующие уровни высшего профессионального образования: высшее профессиональное образование, подтверждаемое присвоением лицу, успешно прошедшему итоговую аттестацию, квалификации (степени) «бакалавр» — бакалавриат; высшее образование, подтверждаемое присвоением лицу, успешно прошедшему итоговую аттестацию, квалификации (степени) «специалист» или квалификации (степени) «магистр» — подготовка специалиста или магистра [1].

В России уровень подготовки бакалавра введен в 1993 г. Нормативный срок программы подготовки бакалавра (при очной форме обучения) — 4 года. Квалификация присваивается по результатам защиты выпускной работы на заседании Государственной экзаменационной комиссии (ГЭК) и дает право на поступление в магистратуру [1].

Квалификация (степень) «бакалавр» отражает образовательный уровень выпускника, свидетельствует о наличии фундаментальной подготовки по соответствующему направлению и определенных общекультурных, профессиональных и других компетенций, прописанных в Федеральном государственном образовательном стандарте высшего образования (ФГОС ВО) и основной образовательной программе (ООП). Лица, получившие документы государственного образца о соответствующем уровне высшего профессионального образования, подтверждаемого присвоением лицу квалификации (степени) «бакалавр», имеют право продолжить на конкурсной основе обучение по образовательной программе высшего профессионального образования — программе магистратуры.



Выпускная квалификационная работа (ВКР) бакалавра — это работа на соискание степени «бакалавр», содержащая системный анализ известных технических решений, технологических процессов, программных продуктов, выполняемая выпускником самостоятельно с использованием информации, усвоенной им в рамках изучения дисциплин математического и естественно-научного цикла, а также профессионального цикла. ВКР бакалавра выполняется на завершающем этапе подготовки бакалавра, служит основным средством итоговой аттестации выпускников, претендующих на получение квалификации (степени) «бакалавр». Выпускная квалификационная работа — самостоятельное и логически завершённое исследование на выбранную и утверждённую на заседании кафедры тему. ВКР выполняется под руководством преподавателей или научных сотрудников кафедры. ВКР позволяет продемонстрировать выпускнику достижение запланированных образовательных результатов ФГОС ВО и ООП. ВКР бакалавра представляет собой решение конкретных научно-исследовательских, проектно-конструкторских и технологических задач и может базироваться на реальных материалах предприятий и организаций.

Защита ВКР бакалавра проводится на заседании Государственной экзаменационной комиссии. Результаты защиты являются основанием для принятия комиссией решения по присвоению квалификации (степени) «бакалавр» и выдачи диплома государственного образца.

Выпускник, имеющий квалификацию (степень) «бакалавр», имеет право на производстве занять после стажировки место помощника оператора технологической установки, аппаратчика или старшего аппаратчика, а после приобретения опыта — должность мастера. В научно-исследовательской лаборатории — должность лаборанта или старшего лаборанта.

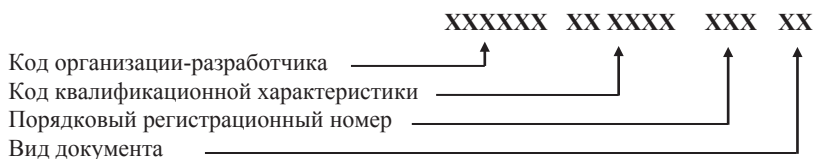
ВКР выполняется и защищается в соответствии с Порядком проведения итоговой государственной аттестации по образовательным программам бакалавриата, специалитета и программам магистратуры СМК-ПВР-6.1.65–2015 [2].

# 1. ВИДЫ ВКР БАКАЛАВРА, РАЗДЕЛЫ

По содержанию и разделам работы научно-исследовательского и технологического характера различаются. Последние направлены на модернизацию действующего производства. Тематика ВКР может предусматривать не только индивидуальные работы, но и проекты, выполняемые группой студентов (комплексные, большие по объему инженерные задания), что позволяет усилить и индивидуализировать проработку каждой части проекта и в целом повысить технический уровень ВКР.

Пояснительная записка ВКР не должна превышать 70 стр., размер шрифта (как правило, Times New Roman или Arial) — 14 или 12 (интервал 1,0 или 1,5, соответственно). Работа должна быть напечатана на стандартном листе писчей бумаги в формате А4. Поля должны оставаться по всем четырем сторонам печатного листа: левое поле — 35 мм, правое — не менее 10 мм, верхнее и нижнее — не менее 20 мм. Страницы должны иметь сквозную нумерацию. Расстояние между заголовком и текстом при выполнении документа должно быть равно трем интервалам. Расстояние между заголовками раздела и подраздела — 2 интервала. Первая строка абзаца начинается с отступа в 1,25 см.

Первой страницей является титульный лист установленного образца (Приложение 1), титульный лист не нумеруется. На титульном листе, а также на чертежах для обозначения текстовых и графических документов выпускных квалификационных работ устанавливается следующая структура:



На месте *кода организации-разработчика* проставляют шестизначный номер учебной специальности, по которой выполняется ВКР, например, 19.03.01 (направление «Биотехнология»), или 18.03.01 (направление «Химическая технология»).

*Код классификационной характеристики* присваивают по Общероссийскому классификатору продукции (ОКП) [3]. В ОКП предусмотрена пятиступенчатая иерархическая классификация с цифровой десятичной системой кодирования.

На каждой ступени классификации деление осуществлено по наиболее значимым экономическим и техническим классификационным признакам. На первой ступени классификации располагаются классы продукции (XX 0000), на второй — подклассы (XX X000), на третьей — группы (XX XX00), на четвертой — подгруппы (XX XXX0) и на пятой — виды продукции (XX XXXX).

Коды 2–5 — разрядных группировок продукции дополнены нулями до 6 разрядов и записываются с интервалом между вторым и третьим разрядами. Классификация продукции в ОКП может быть завершена на третьей, четвертой или пятой ступенях классификационного деления.

Приведем некоторые примеры. При этом первые две цифры в коде ОКП обозначают общий характер продукции (классы):

- 22 0000 — Полимеры, пластические массы, химические волокна и каучуки;
- 23 0000 — Материалы лакокрасочные, полупродукты, кино-, фото- и магнитные материалы и товары бытовой химии;
- 24 0000 — Продукция органического синтеза, синтетические красители и нефте-, коксо-, лесохимическая продукция;
- 25 0000 — Продукция резинотехническая. Материалы и изделия асбестовые и безасбестовые фрикционные, уплотнительные, теплоизоляционные;
- 36 0000 — Продукция химического и нефтяного машиностроения;
- 51 0000 — Оборудование технологическое для легкой и пищевой промышленности и бытовые приборы;
- 91 0000 — Продукция пищевой промышленности;

- 92 0000 — Продукция мясной, молочной, рыбной, мукомольно-крупяной, комбикормовой и микробиологической промышленности;  
93 0000 — Медикаменты, химико-фармацевтическая продукция и продукция медицинского назначения.

Если указаны первые три цифры, то это уже подклассы продукции, например, 24 6000 — Красители синтетические, или 93 4000 — Антибиотики. Остальные значащие цифры в коде ОКП конкретизируют группу, подгруппу и вид продукции, например, код по ОКП резин невулканизированных товарных общепромышленного назначения вальцованных — 25 1211, а код антибиотика канамицина сульфата — 93 4344. Если продукт не имеет кода классификационной характеристики по классификатору Единой системы конструкторской документации (ЕСКД) или ОКП, то на месте шестизначного кода в обозначении документа записывают «00 0000».

*Порядковый регистрационный номер проекта* устанавливает кафедра, организующая ВКР. Если номер документу не присвоен, эти данные также обнуляются.

*Вид документа* записывают по шифрам согласно ГОСТ 2.701–84.

Примеры:

сборочный чертеж	— СБ;
пояснительная записка	— ПЗ;
технологическая схема	— ТС;
аппаратурная схема	— АС;
таблицы	— ТБ.

Второй лист — задание на выполнение ВКР, утвержденное заведующим кафедрой (Приложение 2). Задание оформляется с двух сторон листа и в двух экземплярах. Второй экземпляр задания передается в личное дело выпускника. Далее следует содержание (оглавление) с указанием номеров страниц (Приложения 3, 4).

Следующей страницей — реферат, в котором приводят тему проекта; количество страниц пояснительной записки, а также количество рисунков, таблиц и библиографических наименований; ключевые слова; задачи и цель проекта; новшества

и усовершенствования, внесенные в проект; результаты работы, области возможного применения результатов работы, перспективы ее развития. Ориентировочный объем реферата — 2 000 знаков (примерно 0,5 листа формата А4, Приложение 5).

Перечень листов графических документов оформляется в виде таблицы (Приложение 6).

Если в пояснительной записке используются не общеизвестные или неметрические сокращения физических величин, то необходимо привести перечень сокращений (Приложение 7). В перечень включают специфические, малораспространенные сокращения, новые символы, условные обозначения и т. п., введенные автором для удобства работы с пояснительной запиской. В перечень не включают сокращения и условные обозначения, повторяющиеся в тексте менее трех раз; их расшифровывают в тексте при первом упоминании.

## **1.1. Научно-исследовательские ВКР бакалавра**

Основные разделы:

1. Первая часть ВКР содержит результаты самостоятельной научно-исследовательской работы.

2. Вторая часть является учебной, позволяющей оценить уровень технологической подготовки студента.

Тема ВКР бакалавра, как правило, является одним из этапов плановой госбюджетной или хоздоговорной тематики кафедры и является составной частью аспирантской или магистерской диссертации, а также может быть заделом будущей научно-исследовательской работы (НИР) для способного студента. В связи с этим структура пояснительной записки данной части ВКР должна соответствовать требованиям ВАК к кандидатским диссертациям. В связи с тем, что написание пояснительной записки ВКР, так же как статьи и диссертации, является творческим процессом автора и руководителя (для статьи соавтора), ряд положений данного пособия носит рекомендательный характер.

### 1.1.1. Введение

Во введении необходимо раскрыть актуальность проведения НИР в выбранном направлении. Кратко показать достижения предыдущих исследователей. Сформулировать нерешенные вопросы, которые позволят получить новые синтетические, или теоретические, или практически значимые результаты. Проблема может быть сформулирована широко, а ВКР лишь захватит узкий участок данной задачи. Не следует в актуальности приводить фразы типа: «...в ряду тиазолов (пиразолов, имидазолов, триазинов и т. д.) имеются активные препараты, поэтому поиск новых соединений является актуальной задачей» или «...с помощью данной реакции получен ограниченный ряд соединений, поэтому актуальной задачей является расширение этого ряда». Приведение последней задачи для ВКР бакалавра допустимо, но только в том случае, если работа в дальнейшем не будет развиваться или она является частью НИР более высокого уровня. Выигрышным является приведение ссылки на то, что работа выполнялась в соответствии с хоздоговором с предприятием, по гранту №... или Госпрограмме. В этом случае работа прошла рецензирование и ее актуальность подтверждена независимой экспертизой. Из обоснования актуальности темы вытекает формулировка цели работы.

#### Цель работы

Цель работы уточняется уже после выполнения эксперимента. Поэтому она должна в общем виде включать в себя научную новизну и практическую значимость ВКР. Цель работы выражают одной фразой. Для расшифровки общих положений цели можно разбить ее на задачи исследования. В пояснительной записке ВКР бакалавра нецелесообразно ставить цель, которая достижима только при выполнении диссертации на соискание степени магистра или кандидата наук. В цели исследования должна быть обозначена практическая направленность работы. Не следует писать фразы типа «...синтезировать (получить) следующий ряд новых веществ». Член ГЭК задается вопросом: «А для чего

их необходимо получать? Кому они нужны?» Как правило, в цели должны присутствовать конечные результаты. Например: «установление границ применения данной реакции»; «для изучения биологической активности» (если в разделе «Актуальность» имеются ссылки на активные препараты); «в качестве экстрагентов»; «использование в качестве селективных датчиков» или «использование в качестве чего-либо». Следующим пунктом введения является научная новизна работы.

### **Научная новизна**

Научная новизна должна соответствовать цели работы. Беспробитными фразами являются: «найдена новая реакция»; «впервые установлены закономерности прохождения процесса или реакции»; «найдены особенности реакции, которые позволяют...». Для ВКР бакалавра вполне допустимо указать, что впервые удалось получить соединения, содержащие электроноакцепторные (электронодонорные) заместители, которые ранее не удалось синтезировать. Положения раздела научной новизны должны быть конкретными и четкими, не позволяющими их истолковывать двояко.

### **Практическая значимость работы**

В данном пункте введения приводятся результаты, имеющие практическое значение. Так, весомым будет результат, если разработан новый метод (не просто новая методика) получения ряда соединений, представляющий интерес для других исследователей. Также практически значимым результатом является получение и наработка веществ для испытаний каких-либо свойств другими организациями или фирмами, по специальности или направлению отличными от специальности бакалавра (например, биологами, физиками и т. д.). Простое перечисление рядов новых соединений нежелательно, так как из него не следует практическая полезность работы. В ВКР бакалавра допустимо указание на наработку веществ, которые в дальнейшем будут испытаны для выявления полезных свойств.

Если ВКР или ее часть была доложена на конференции или результаты направлены в печать, то следует указать об апробации работы. Введение в ВКР не нумеруется.

### **1.1.2. Литературный обзор**

Объем литературного обзора в ВКР бакалавра не может превышать 15–20 стр. Ссылки указываются в квадратных скобках в порядке возрастания, например, от [1] к [33]. В связи с тем, что работа захватывает довольно узкий фронт проблемы, следует максимально широко использовать имеющиеся обзоры для описания общей проблемы. Более подробно с привлечением оригинальных публикаций следует рассмотреть вопросы, близкие к теме ВКР. Обязательно должны присутствовать ссылки на литературные источники не позднее 5–7 лет к моменту написания работы. Анализ литературных данных должен привести автора к выводам — формулировке цели и задач исследования. Целесообразно в расширенном варианте привести отдельным абзацем или разделом их формулировку. Нумерация соединений сквозная как в литературном обзоре, так и в главах, описывающих собственный эксперимент.

Схемы превращений могут иметь свои номера, но могут и не иметь их по усмотрению автора. Схема от текста отделяется сверху и снизу не менее чем на 0,3–0,5 см. Выделение схемы осуществляют следующим методом: включают формат объекта, либо устанавливают межстрочный интервал, либо другим удобным для автора способом. В ВКР литературный обзор нумеруется как *раздел 1*.

### **1.1.3. Первая глава**

Глава должна иметь название, обычно совпадающее с названием ВКР, ее содержание представляет собой описание проведенного эксперимента. Обозначение и формат схем такой же, как и в литературном обзоре. Таблицы и рисунки должны иметь названия и порядковую нумерацию (например, табл. 1, рис. 3).



Нумерация таблиц и рисунков должна быть сквозной для всего текста выпускной квалификационной работы. Порядковый номер таблицы проставляется в правом верхнем углу над ее названием. Порядковый номер рисунка и его название проставляются под рисунком.

Для доказательства структуры полученных соединений привлекаются данные рентгеноструктурного анализа (РСА), спектры ЯМР, ИК и УФ. По тексту пояснительной записки приводится рисунок РСА, а полные данные выносятся в приложение. В тех случаях, когда для доказательства строения необходимо рассмотрение спектров ЯМР, приводится их полная распечатка либо фрагментов спектра, которые обсуждаются. Если спектр довольно простой, то достаточно его текстового рассмотрения, а величины химических сдвигов и констант спин-спинового взаимодействия приводятся в экспериментальной части. Данные ИК- (величины характеристичных колебаний групп) и УФ-спектра также могут быть приведены в текстовом виде, но должны быть приведены в экспериментальной части. То же относится и к спектрам люминесценции и флюоресценции. Они являются практическим достижением автора. При их значительном объеме следует в первой главе рассмотреть синтез, а во второй практически важные результаты (по усмотрению автора и руководителя). В последних случаях важен квантовый выход и вид самого спектра, поэтому их рисунок надо приводить в первой либо во второй главе.

В конце главы возможно приведение заключения, которое обобщает научные и практические достижения ВКР. Заключение может быть полезно, так как это позволит студенту в конце доклада на защите ВКР подвести итог своей работы, обратить внимание на главные и существенные достижения. В заключении обычно приводятся формулировки научной новизны и практической значимости работы (обычно те же самые, что и во введении). Первая глава ВКР нумеруется как *раздел 2*.

### 1.1.4. Вторая глава

Вторая глава является экспериментальной частью. В ней должны быть приведены методики получения всех вновь синтезированных соединений. Глава начинается с приведения названий приборов, с помощью которых получены спектральные и аналитические характеристики соединений. Например [4, 5]:

Для спектральных исследований использовались аналитически и хроматографически чистые образцы. ИК-спектры записаны на приборе ИК-Фурье спектрометр **Bruker Alpha**, более сложные — на спектрометре ИК-Фурье Bruker Vertex 70 в интервале  $4\,600\text{--}400\text{ см}^{-1}$ . Спектры ЯМР  $^1\text{H}$ ,  $^{13}\text{C}$  и  $^{19}\text{F}$  получены на приборе «Bruker AVANCE II 400» (400.00 МГц для  $^1\text{H}$  и 100.00 МГц для  $^{13}\text{C}$ ) в DMSO- $d_6$ , в качестве внутреннего стандарта использовался  $\text{Me}_4\text{Si}$ ,  $^{19}\text{F}$  376 МГц относительно  $\text{C}_6\text{F}_6$ . Масс-спектры синтезированных соединений записаны на приборе «Varian MAT-311A» (ЭУ, энергия ионизирующих электронов 70 эВ). Элементный анализ выполнен на анализаторе «Carlo Erba CHN/S-O EA 1108», УФ-спектры записаны на приборе Lambda 35 Perkin Elmer. Температуры плавления измерены в открытых капиллярах на аппарате «Stuard SMP3». Монокристаллы получены кристаллизацией из ацетона. Рентгенодифракционный эксперимент проведен на дифрактометре «Xcalibur 3» с CCD-детектором. (Можно уточнить и детали: «Учет поглощения проведен аналитически по модели мультифасеточного кристалла с использованием программы CrysAlis Red 1.171.29.9, кристаллическая структура решена прямыми методами и последующим фурье-синтезом по программе Shellxs-97»). Для контроля за ходом реакции и индивидуальностью полученных соединений использовался метод ТСХ на пластинках Silufol UV-254 и Sorbifil UV-254 (тип сорбента — силикагель CTX-1A) в системах растворителей: а) бутанол — уксусная кислота — вода, 4 : 1 : 1; б) хлороформ — этанол, 3 : 1; в) хлороформ — этанол, 6 : 1.

Следует отметить, что С, Н, N-анализатор выдает распечатку содержания элементов с точностью до сотых долей процента. Однако погрешность прибора составляет  $\pm 0,3\%$ . Поэтому данные элементного анализа следует приводить с точностью до десятых долей процента, округление результатов обычное. Для новых соединений приводятся данные элементного анализа, как минимум, по трем элементам. Многие из журналов не публикуют данные

элементного анализа, но при представлении статьи в печать их требуют. В квалификационной работе приведение результатов элементного анализа обязательно. Если серия веществ получена по одной методике, то она приводится для одного из них. Для остальных указывается, что они получены аналогично. Но все их физико-химические характеристики должны быть сведены в таблицу или приведены после названия и номера соединения.

Названия веществ должны соответствовать номенклатуре IUPAC. В качестве примера приводится методика получения одного из веществ [5]:

**3-Метил-7-(2-оксопропил)-3,7-дигидроимидазо[4,5-*d*][1, 2, 3]триазин-4-он (4a).** К раствору 0,5 г (3,31 ммоль) 5-диазоимидазол-4-метилкарбоксамид в 10 мл хлороформа при комнатной температуре и перемешивании постепенно добавляют 0,5 мл (6,6 ммоль) хлорацетона и 0,9 мл (6,6 ммоль) триэтиламина, выдерживают в этих условиях 2 ч. Растворитель упаривают в вакууме, остаток кристаллизуют из этанола. Выход 0,92 г (89,3 %).  $T_{\text{пл}}$  172–173 °С.  $R_f$  (a) 0,64. Спектр ЯМР  $^1\text{H}$  (ДМСО- $d_6$ ),  $\delta$ : 8.27 (1H, с, 6-H), 5.42 (2H, с,  $\text{CH}_2$ ), 3.98 (3H, с,  $\text{NCH}_3$ ), (3H, с,  $\text{COCH}_3$ ). Найдено, %: C 46.2; H 4.2; N 33.5.  $\text{C}_8\text{H}_9\text{N}_5\text{O}_2$ . Вычислено, %: C 46.4; H 4.4; N 33.8.

Как видно из приведенного примера, найденные данные элементного анализа в пределах погрешности прибора совпадают с расчетными. В последнее время величину  $R_f$  не приводят, хотя это и не возбраняется.

Выход продукта приводят, как правило, на чистое вещество после перекристаллизации либо другого метода (сублимация, ректификация, перегонка в вакууме или с паром). Однако, если после очистки, особенно после хроматографической, выход может быть низким (30–40 %), то целесообразно приводить выход до очистки и после нее.

Приведение в экспериментальной части низкого выхода после очистки на защите часто вызывает вопросы: «Выход составляет 25 %. А 75 % — примеси? Какое соединение является основным? Может быть, выделенный продукт является результатом побочной реакции? Тогда соответствует ли приведенная схема реакции действительному ходу процесса?».

Ниже даются примеры приведения физико-химических данных для новых соединений в табличном варианте (табл. 1.1, 1.2) [5].

Таблица 1.1

**Выходы, температуры плавления,  
данные элементного анализа и ТСХ**

№ п/п	Брутто- формула	Вычислено найденно, %			$R_f$ (элюэнт)	$T_{пл}$ , °C	Выход, %
		C	H	N			
1a	$C_9H_{10}N_6O_3$	43,2	4,0	33,59	0,67	168–169	77
		43,2	3,9	33,50			
1б	$C_{10}H_{12}N_6O_3$	45,5	4,6	31,8	0,56	146–148	82
		43,7	4,6	32,0			

Приведение данных физико-химических исследований и элементного анализа в табличной форме экономит объем пояснительной записки ВКР, но затрудняет чтение и анализ документа. Обычно эти исследования проводятся в специализированных лабораториях не самим автором. Поэтому следует выразить благодарность тем, кто их проводил.

Таблица 1.2

**Спектральные и физико-химические  
характеристики гидразонов**

№ п/п	ИК-спектр, $\nu$ , $cm^{-1}$			Спектр ЯМР $^1H$ , $\delta$ , м. д., КССВ ( $J$ ), Гц	УФ-спектр, нм, (lg $\epsilon$ ) в этаноле
	NH	CN ( $NO_2$ )	CO		
2a	3 320, 3 250	–(1 560), (1 380)	1 680	12,62 (1H, уш. с, NH); 7,87 (1H, с, NH); 7,53 (1H, с, 2-H); 2,40 (3H, с, $CH_3$ ); 2,10 (3H, с, $CH_3$ )	259 (4,12) 365 (3,88)
2б	3 573, 3 430	2 230	1 675	14,59 (1H, уш. с, NH); 2,43 (3H, с, $CH_3$ ); 2,38 (3H, с, $CH_3$ )	268 (4,11) 367 (3,80)

Вторая глава (экспериментальная часть) нумеруется в ВКР как *раздел 3*.

### 1.1.5. Выводы

Этот раздел пояснительной записки ВКР обязателен. Наличие заключения не заменяет его. В краткой форме необходимо сформулировать наиболее важные результаты работы. Вывод: «Синтезирован ряд производных...» не является выводом — это лишь констатация факта. Та же фраза, но с указанием практической направленности уже вполне приемлема: «Синтезирован и наработан в достаточных количествах ряд производных..., перспективных для изучения... (в соответствии с целью работы)». В качестве примера можно привести также следующие формулировки выводов: «Разработан новый метод получения..., что позволяет синтезировать ранее недоступные соединения»; «Найдены условия проведения реакции..., позволяющие получить соединения... с электронодонорными (электроноакцепторными) заместителями»; «Изучена реакция... и найдены закономерности, определяющие границы ее применения. Наличие электроноакцепторных заместителей затрудняет ее проведение». Выводы нумеруются в ВКР как *раздел 4*.

В докладе на защите ВКР в презентации необходимо показать слайд с выводами. Выигрышно будет не зачитывать их, а сделать заключение, к тому же это позволит сэкономить время доклада, который не должен занимать более 8 мин.

### 1.1.6. Технологическая часть

В ВКР бакалавра обязательно должна быть технологическая часть, которая позволяет оценить уровень технической подготовки выпускника. В научно-исследовательских ВКР бакалавров, в отличие от технологических, данная часть имеет существенно меньший объем. За основу расчета берется одна стадия химического процесса, что приводит к нескольким технологическим стадиям — очистке, фильтрации, сушке и т. д. Студент совместно с руководителем из всей гаммы реакций выбирают ту, которая приводит к получению промежуточного или конечного продукта, имеющего наибольшее практическое значение. Первым этапом

выполнения данной части работы является создание принципиальной аппаратурной схемы производства, которая в дальнейшем будет уточнена после проведения расчета оборудования. Типы схем приведены в [6–9].

В специализированных научно-исследовательских лабораториях (НИЛ) по наработке веществ для практического использования или расширенного изучения получают от сотен граммов вещества до нескольких килограммов. Для этого используют *лабораторные установки*. К этой категории технологических схем относят укрупненные лабораторные установки с объемом реакционных сосудов до 10 л, изготовленных из термостойкого стекла с частичным применением металлических узлов и смонтированных с использованием обычного лабораторного оборудования. Эти установки выполняют практически те же функции, что и модульные установки. Потребность в отработке методик на лабораторных установках возникает в тех случаях, когда эффект масштабного перехода от лабораторных опытов (получение от 0,05 до 5–10 г) к промышленному освоению сопровождается значительным снижением выхода целевого продукта. Кроме того, лабораторные установки используются для наработки новых препаратов для испытаний, а также для получения препаратов и реактивов, потребность в которых составляет лишь сотни граммов или несколько килограммов в год [6]. Проектирование лабораторной установки в ВКР бакалавра возможно, но это не дает полного представления о его технологической подготовке. Поэтому в работе ведут проектирование части модульной установки с мощностью производства 100 кг.

**Стендовые или модульные установки.** Эти установки представляют собой малогабаритные, легко переоборудуемые виды аппаратуры, смонтированные, как правило, на монтажных фермах («этажерках»). Такие конструкции позволяют за короткое время переоснастить установку и организовать новое экспериментальное производство. Основное их назначение — освоение производства новых видов продукции, апробация новых методов синтеза и наработка препаратов для широких биологических или

клинических испытаний. Модульные установки иногда служат и для серийного выпуска малотоннажной продукции, годовой объем производства которых составляет от нескольких десятков килограммов до 3–5 т [6]. Конечно, наработка 100 кг продукта, который пока не нашел практического применения, за 10–20 дней является учебной задачей, а не практически целесообразной. Но в данном случае ее решение позволяет более полно раскрыть степень технологической подготовки студента. Модульная установка должна быть максимально универсальной, так как после наработки одного продукта она перемонтируется для наработки следующего. Содержание модульной установки только для наработки единственного вещества в большинстве случаев экономически нецелесообразно. Но если какая-либо субстанция пользуется определенным спросом, то модульную установку можно использовать в течение 6–8 месяцев, а в оставшееся время проводить наработку заказных реактивов. Оборудование такой установки включает в себя несколько емкостных аппаратов с хранилищами для жидких веществ, имеющих гребенку-воздушку, штуцер для подачи сжатого воздуха или азота, что позволяет заполнить мерник. В отдельных случаях используют погружной насос.

На линиях материальных трубопроводов в соответствии с требованиями Единой системы технологической документации (ЕСТД) отображается трубопроводная арматура, необходимая для ручной или автоматической регулировки потоков и безопасной транспортировки жидкостей и газов (вентили, краны, клапаны, смотровые фонари, огнепреградители, отсекатели и т. п.). Так как установка является универсальной, то аппаратура, трубопроводы и запорная арматура выполняются в коррозионно устойчивом исполнении, чаще всего это нержавеющая сталь. Если в реакции используется соляная кислота, то мерники и трубопроводы должны быть стеклянными (объем мерника не более 10 л), или керамическими, или из поливинилхлорида (объем мерника не более 50 л). В этих случаях используют стеклянный емкостной аппарат объемом не более 10 л, аппараты большего объема дорогие и их применение экономически нецелесообразно. Проще

и дешевле использование эмалированного стального аппарата. Так как установка является универсальной, предназначенной для наработки различных продуктов, на аппаратах, мерниках и хранилищах устанавливаются воздушки с огнепреградителем. Даже в тех случаях, когда не используются легковоспламеняющиеся жидкости (ЛВЖ), огнепреградитель на воздушке изображается, он может потребоваться при перемонтаже схемы на производство другого соединения.

**Обогрев или охлаждение аппарата.** В современных установках небольшого объема применяют аппараты для индивидуального нагрева или охлаждения. Теплоносителем такого аппарата является жидкость на основе этиленгликоля. Электронагревание ведется в отдельной емкости, охлаждение — в другой, нагнетание жидкости ведется насосами, интервал ее рабочей температуры составляет от  $+150$  до  $-40$  °С. Теплоноситель подается в рубашку реактора снизу, вытекает из верхнего штуцера. Установки удобны в эксплуатации, но капитальные и эксплуатационные затраты велики. В специализированных научно-исследовательских лабораториях по наработке, находящихся на территории предприятия, для нагревания используют водяной пар с давлением до 6 атм. Пар подается в закольцованные штуцеры рубашки сверху, конденсат отводится через нижний штуцер рубашки в конденсатоотводчике. Охлаждение реакционной массы в том же аппарате осуществляют водой через нижний штуцер рубашки. Для более глубокого охлаждения реакционную массу перекачивают (сливают самотеком) в отдельный аппарат и подают охлажденный рассол. Нагревание паром и охлаждение рассолом в одном аппарате недопустимо из-за разбавления и, тем самым, повышения температуры его замерзания. При выборе оборудования для технологической схемы следует максимально использовать стандартные установки, реакторы, их оснастку и лишь в случае необходимости включать в схему уникальное, нестандартное оборудование. Следует обращать внимание на вопросы использования новой зарубежной высокоэффективной аппаратуры, позволяющей существенно повысить



технический уровень производства и обеспечивать выпуск продукции, отвечающей требованиям мировых стандартов.

**Выбор теплообменников.** Как правило, в совмещенных схемах для кипячения с возвратом растворителя или его отгонки используют кожухотрубные теплообменники из нержавеющей стали. Пары жидкости подают в трубное пространство сверху, охлаждающую воду — в межтрубное пространство. При перемонтаже установки на производство другого продукта теплообменники промывают растворителем, но иногда требуется и механическая очистка поверхности. При ней трубы изнутри чистить проще, оголив трубную решетку. При кипячении солянокислых растворов, а также при их отгонке используют углеграфитовые или стеклянные теплообменники.

**Фильтрационное оборудование.** В совмещенных схемах чаще всего для фильтрации конечного и промежуточных продуктов используют нутч-фильтры (закрытые нутч-фильтры). Друк-фильтры используют для горячей фильтрации от сорбента при перекристаллизации. Их использование для фильтрации суспензии конечного продукта нерационально из-за большой трудоемкости разгрузки. В отдельных случаях могут использоваться и центрифуги с саморазгрузкой, но они дороги.

**Выбор сушилок.** В совмещенной схеме загрузка на одну операцию невелика, поэтому чаще всего выбирают полочные сушилки — сушильные или вакуум-сушильные шкафы. После данных сушилок необходимо устанавливать теплообменник и реактор для сбора конденсата. Это важно особенно для вакуум-сушильных шкафов, чтобы не загрязнять вакуумную линию. На аппаратурной схеме улавливатели конденсата можно не показывать. Но если масса пасты после фильтрации превышает 10 кг, то приходится выбирать пневматические сушилки различных типов. После них всегда устанавливают циклон для улавливания мелкой фракции продукта и пыли. Это оборудование занимает большую площадь и энергоемко.

Схема уточняется после проведения технологического расчета основного оборудования. При этом если объем мерника

составляет меньше 10 л, то есть два решения. Первое — жидкость заливают в реактор вручную из мерного цилиндра, второе — в мерник загружают жидкость на 2–3 операции, и тогда его объем будет превышать 10 л.

Технологическая часть нумеруется как *раздел 5*. После создания принципиальной аппаратурной схемы в ВКР выполняются следующие подразделы:

- описание конечного продукта и обоснование необходимости его наработки (0,5 стр.);
- характеристика сырья и материалов;
- описание технологического процесса;
- расчет материального баланса по всем технологическим стадиям (узлам) с приведением таблицы материального индекса производства;
- технологический расчет основного оборудования.

Подробно данные разделы рассмотрены с приведением примеров в разделе 1.2 «Технологические ВКР бакалавров» и разделе 2 «Примеры описания стадий основного технологического процесса».

### **1.1.7. Разделы, выполняемые под руководством консультантов**

В ВКР бакалавра в обязательном порядке присутствуют разделы, которые выполняются под руководством преподавателей других кафедр:

- безопасность жизнедеятельности, раздел в ВКР номер 5 (ПДК всех реактивов, которые используются в данном производстве, обезвреживание твердых, жидких и газообразных отходов);
- экономика НИР, раздел в ВКР номер 6 (затраты на проведение работы — стоимость реактивов, энергозатрат, зарплата руководителя и стипендия студента).

### **1.1.8. Заключительные разделы ВКР**

В конце работы приводится библиографический список (общий как по первой части работы, так и по второй).

В связи с тем, что часто ГЭК научно-исследовательские ВКР рекомендует для участия в конкурсах студенческих НИР, в конце работы делается заключение с перечислением выполненных разделов, а не общие выводы по исследовательской части.

## **1.2. Технологические ВКР бакалавра**

Целью ВКР бакалавра является модернизация производства, и она представляет собой решение конкретных технологических задач. ВКР базируется на реальных материалах предприятий и организаций. В отличие от ВКР специалиста и магистра, из-за недостатка времени и неполной технологической подготовки задание на проектирование и модернизацию для ВКР бакалавра дается не на весь производственный цикл получения продукта, а лишь на отдельный участок. Например: участок приготовления сусла, участок брожения или для химического производства две-три химических стадии получения продукта. Задание на выполнение ВКР может предусматривать не только индивидуальные работы, но и проекты, выполняемые группой студентов (комплексные, большие по объему инженерные задания), что позволяет усилить и индивидуализировать проработку каждой части проекта и в целом повысить технический уровень ВКР.

Начало пояснительной записки — титульный лист, задание, оглавление, реферат, перечень листов графических документов, список сокращений. Требования к ним те же, что и для научно-исследовательской ВКР. Перед началом выполнения работы студент согласовывает с руководителем аппаратурную схему производства. При внесении изменений аппаратуры в базовое производство данный вопрос согласовывается с консультантом по экономике. Замена старой аппаратуры на новую должна быть экономически оправданной, срок окупаемости не должен уходить

в бесконечность. Порядок изложения приведен в [8, 9], но скорректирован для ВКР бакалавра.

Разделы пояснительной записки ВКР:

- введение;
- литературный обзор и цель работы (*раздел 1*);
- описание технологического процесса (*раздел 2*);
- расчет материального баланса на единицу продукции (*раздел 3*);
- технологический расчет основного оборудования (*раздел 4*);
- безопасность жизнедеятельности (*раздел 5*);
- экономическая эффективность (*раздел 6*);
- заключение (выводы);
- библиографический список;
- приложения.

Все указанные разделы начинаются с нового листа.

Содержание разделов существенно отличается от таковых для пояснительной записки научно-исследовательской ВКР.

### **1.2.1. Введение**

В данном разделе необходимо показать назначение продукции, важность выпуска этого вида продукции для экономики и наличие устойчивого сбыта. При таких условиях возможна модернизация производства и увеличение его мощности. Введение занимает 1 стр.

### **1.2.2. Литературный обзор**

В отличие от научно-исследовательской ВКР, в технологической работе необходимо рассмотреть основные свойства продукта и различные методы его получения. На основании сопоставления существующих методов по выходам, длительности процесса, затратам на сырье, оборудование и др. необходимо обосновать выбор технологии для проектируемого производства в целом или отдельных его стадий. Также необходимо выявить недостатки существующей базовой технологии. Базовая технология — это

существующая на производстве, которое изучил студент, технология. На основании этого формулируется цель работы.

Как правило, целью технологической ВКР является модернизация базового производства для улучшения качества продукции или увеличения ее выпуска.

### 1.2.3. Описание технологического процесса

Данный раздел включает в себя:

- *характеристику конечной продукции* — требования к качеству выпускаемой продукции, нормативно-технические документы, регламентирующие эти требования (ГОСТы, ОСТы, ТУ, фармакопейные статьи (ФС) и т. п.), основные свойства продукта, его товарный вид, условия хранения, транспортировки;
- *характеристику сырья и материалов* — оформляется в виде таблицы (Приложение 8);
- *химическую схему производства* (если она уже приведена в предыдущем разделе, то здесь делается соответствующая ссылка) (Приложение 9);
- *технологическую схему (блок-схему) производства*, которая представляет собой упрощенное графическое отображение последовательности выполнения работ в данном производстве с подразделением их по стадиям и операциям технологического процесса. Каждая стадия и операция должна иметь наименование и порядковый номер. Нумерация стадий и операций осуществляется в порядке их выполнения по ходу технологического процесса, начиная с поступления и подготовки сырья и кончая отгрузкой готовой продукции. Например, стадия 2; операции 2.1; 2.2 ... 2.5. Порядковая нумерация может содержать буквенные индексы, характеризующие вид работ на данной стадии, а именно:
  - «ВР» — стадии вспомогательных работ;
  - «ТП» — стадии основного технологического процесса;
  - «ПО» — стадии переработки используемых отходов;

- «ОБО» — стадии обезвреживания отходов;
- «ОБВ» — стадии обезвреживания технологических и вентиляционных выбросов в атмосферу;
- «УМО» — стадии упаковывания, маркирования и отгрузки готового продукта.

Пример оформления технологической схемы (блок-схемы) производства приведен в Приложении 10;

- текст *описания технологического процесса* излагается в строгом соответствии с ходом технологии производства и включает последовательное описание каждой стадии (операции), которые представляют отдельные подразделы и пункты, имеющие, как указано выше, порядковую нумерацию. Описание каждой стадии (операции) производства, как правило, включает:
  - порядковый номер (шифр) и наименование стадии;
  - уравнения всех химических реакций (если таковые имеются) с указанием структурных формул, молярных масс и наименований соединений, участвующих в реакциях;
  - собственно текст описания технологического процесса, в котором последовательно и четко излагаются следующие типовые операции: проверка исправности оборудования и подготовка его к работе; источник поступления и порядок загрузки сырья и полупродуктов; ход технологического процесса с указанием его параметров и действия аппаратчика (оператора) по осуществлению технологического процесса в заданном режиме; порядок завершения стадии, способ выгрузки и адресат транспортировки продуктов реакции и отходов производства. В случае потенциально опасных технологических процессов в тексте описания необходимо четко изложить действия оператора по исключению критичных и аварийных ситуаций на данной стадии (участке). Текст описания технологического процесса должен быть произведен в точном соответствии с *аппаратурной схемой производства*. Чертеж аппаратурной схемы выкладывается

в приложение к ВКР. Примеры описания химико-технологических и биотехнологических процессов приведены в разделе 2 данного пособия.

*Аппаратурная схема производства* — это совокупность аппаратуры и оборудования, представляющая собой единую систему, предназначенную для выпуска определенного вида продукции. При этом под системой подразумевается обвязка всех единиц оборудования материальными линиями, линиями энергообеспечения, а также оснащение схемы контрольно-измерительными приборами, средствами регулирования, автоматизации и управления технологическими процессами [8].

Разработка аппаратурной схемы является важным и ответственным этапом проектирования производства нового вида продукции или нового технологического процесса, поскольку проект должен обеспечить надежную, безопасную работу создаваемой схемы, отвечающей современным требованиям, которые предъявляются к химическим или биотехнологическим производствам с учетом их оптимальных технико-экономических показателей.

Проектирование технологической схемы осуществляется в основном инженерами-технологами с участием специалистов по оснащению схемы энергоносителями и средствами КИПиА. Таким образом, будущая успешная эксплуатация проектируемой схемы в первую очередь зависит от квалифицированной и грамотной работы главного автора проекта — технолога.

При разработке регламента производства лекарственных средств медицинской промышленностью России рекомендуется использование так называемого «флажкового» метода изображения технологического оборудования. В соответствии с этим методом вся емкостная аппаратура изображается в виде многоугольников и других геометрических фигур различной конфигурации в зависимости от основных условий работы установки (давление, вакуум, нагрев, охлаждение). В качестве примера на рис. 1.1 приведены обозначения сосудов, работающих при различных давлениях.

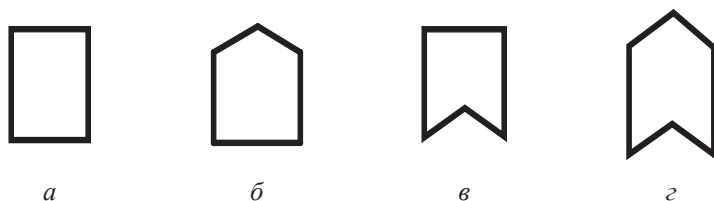


Рис. 1.1. Обозначения сосудов, работающих под давлением:

*а* — при атмосферном давлении; *б* — при избыточном давлении;  
*в* — при разряжении (вакуум); *г* — при давлении и разряжении

Однако информативность таких схем весьма ограничена, они, подобно блок-схемам, скорее всего, изображают алгоритм производства, почти не отражая характер оборудования и специфику технологической схемы.

Для студенческих проектов более целесообразно использовать метод составления чертежей аппаратурных схем, общепринятый на большинстве предприятий химической промышленности, включая заводы по производству лекарственных веществ, витаминов и другой продукции «малой» химии. Согласно этому методу оборудование и аппаратуру принято изображать в виде условных обозначений, имеющих сходство по внешнему контуру с реальным чертежом соответствующего устройства.

В Приложениях 11, 12 приводятся примеры условных обозначений оборудования и отдельных деталей аппаратурных схем, а также схематическое изображение типовых установок, часто встречающихся в производстве биологически активных веществ, лекарственных препаратов и продуктов тонкого и основного химического синтеза. Здесь приведены лишь некоторые виды стандартной аппаратуры. При отражении на чертеже этой и прочей химической аппаратуры допускаются и другие типы условных изображений аппаратуры. Следует отметить то, что на чертеже каждая установка должна иметь весь необходимый набор запорной арматуры — краны, вентили, сообщение с атмосферой (воздушки), смотровые фонари, конденсатоотводчики и т. п.;

- *контрольные точки* производства приводятся в виде таблицы (Приложение 13).



### 1.2.4. Расчет материального баланса

Данный раздел рассмотрен в [8], а в этом пособии приводится в новой редакции. Материальный расчет производства — это расчет количества загружаемых веществ и получаемых продуктов с выводом расходных коэффициентов по сырью и материалам и с определением состава и количества отходов. Результаты материальных расчетов служат, таким образом, основой технологических, тепловых и экономических расчетов проекта. Основным инструментом выполнения материальных расчетов является материальный баланс производства.

Для периодического процесса материальный баланс составляется на единицу массы целевого продукта, чаще всего на 1 000 кг (1 т). Для научно-исследовательских ВКР — на 1 кг. При непрерывном процессе расчет ведут на часовой выпуск продукта —  $G_{\text{час}}$  (кг/ч, т/ч). Указанные количества целевого продукта составляют так называемый масштаб расчета.

В основе материальных расчетов лежит закон сохранения масс:

$$G_{\text{исх}} = G_{\text{получ}}, \quad (1.1)$$

где  $G_{\text{исх}}$  и  $G_{\text{получ}}$  — суммы масс исходных и полученных веществ, кг.

Ниже приведена более детальная структура материального баланса химической стадии технологического процесса.

Представим стехиометрическое уравнение химической реакции в виде

$$a \cdot A + b \cdot B = c \cdot C + d \cdot D, \quad (1.2)$$

где  $A$  и  $B$  — исходные реагенты;

$C$  — целевой продукт;

$D$  — побочный продукт реакции;

$a, b, c, d$  — стехиометрические коэффициенты.

Материальный баланс данной стадии может быть представлен в общем виде следующим образом:

$$G_A + G_B = G_C + G_D + G_{\text{Аост}} + G_{\text{Вост}} + G_{\text{прим}} + G_{\text{пот}}, \quad (1.3)$$

где  $G_A$  и  $G_B$  — массы исходных реагентов, кг;

$G_C$  и  $G_D$  — массы целевого и побочного продуктов реакции, кг;  
 $G_{\text{Аост}}$  и  $G_{\text{Вост}}$  — массы реагентов А и В, не вступивших в химическую реакцию, кг.

Следует обратить внимание на типичную ошибку, допускаемую студентами при проведении расчета. При сборе материалов для проектирования берется из производственного регламента выход, предположим, 86 %. Однако этот выход в регламенте приводится уже после фильтрации, часть целевого продукта остается в растворе. Студенты потерю 14 % списывают на то, что часть реагентов не прореагировала. В тех случаях, если реагенты берутся в стехиометрических соотношениях и реакция необратима, то ее ведут обычно до практически полного расхода сырья, а выход, не равный 100 %, при проведении процесса происходит за счет протекания побочных реакций, за счет отсутствия региоселективности реакции. Реальный выход продукта может составлять 90–95 %. При избытке одного из реагентов, конечно, он остается в непрореагировавшем виде. Особый случай — это когда для снижения количества побочных продуктов приходится не доводить реакцию до конца, обрывать ее до достижения определенного процентного содержания целевого продукта. Тогда в реакционной массе остаются непрореагировавшие сырьевые компоненты. При обратимости реакции ее проводят до установления равновесия. В этом случае оба реагента остаются в непрореагировавшем виде:

$G_{\text{прим}}$  — масса примесей, вносимых в реактор с исходными реагентами технической квалификации, кг;

$G_{\text{пот}}$  — масса механических потерь целевого продукта, кг.

Среди исходных веществ рекомендуют выделять ключевое исходное вещество (КВ), определяющее выход целевого продукта реакции (КВ берется в эквимолярном количестве или в мольном недостатке по отношению к другим реагентам).

Массу фактически получаемого целевого продукта и, соответственно, массу его потерь определяют, вводя в расчет величины практических выходов продукта по отдельным технологическим стадиям ( $\eta_1, \eta_2, \eta_3, \dots, \eta_i$ ) и по процессу производства в целом ( $\eta_{\text{общ}}$ ). Общий практический выход продукта

по производству в целом связан с постадийными выходами соотношением

$$\eta_{\text{общ}} = \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3 \cdot \dots \cdot \eta_i, \quad (1.4)$$

где 1, 2, 3, ...,  $i$  — номера стадий технологического процесса.

Величина практического выхода продукта реакции на химической стадии процесса определяется соотношением

$$\eta_i = (G_{\text{факт}} / G_{\text{теор}}) \cdot 100 \%, \quad (1.5)$$

где  $G_{\text{факт}}$  — масса фактически полученного по основной реакции целевого продукта  $C$ , кг;

$G_{\text{теор}}$  — количество продукта  $C$ , которое должно получаться по стехиметрическому уравнению реакции, кг.

$$G_{\text{теор}} = G_A \cdot (c \cdot M_C / a \cdot M_A), \quad (1.6)$$

где  $M_A$  и  $M_C$  — мольные массы соответственно ключевого исходного вещества  $A$  и целевого продукта реакции  $C$ , кг/кмоль;

$a$  и  $c$  — стехиометрические коэффициенты.

С учетом вышеизложенного можно рекомендовать следующую методику расчета материального баланса узла (химической стадии технологического процесса, ТП):

1. Сбор необходимых для расчета исходных данных.

В сводку исходных данных должны входить:

- масштаб расчета;
- состав исходного сырья и товарного (целевого) продукта;
- перечень узлов и выходов по стадиям;
- удельные или мольные загрузки реагентов, используемых в нестехиометрических количествах;
- данные о возврате в цикл реагентов, взятых в избытке или не участвующих в химической реакции (например, растворителей, каталитических добавок и т. д.).

Полезно перед началом расчета провести анализ технологического процесса, выявить все его узлы, где имеются изменения материальных соотношений перерабатываемых веществ,

и составить схему-граф материальных потоков данного производства (примеры приведены в разд. 2.2).

2. Определение расхода ключевого исходного вещества (КВ) по стехиометрии и с учетом общего практического выхода продукта.

3. Определение расходов остальных исходных веществ на основе удельных загрузок ( $G_i$  кг на 1 кг КВ) или мольных отношений реагентов ( $N$  моль реагента на 1 моль КВ).

4. Определение количеств продуктов, полученных по стехиометрии (согласно уравнению реакции) и с учетом выхода по стадии.

5. Определение остатков непрореагировавших исходных веществ, а также их механических потерь.

6. Составление материального баланса стадии и представление его в виде таблицы. При этом строго должно выполняться равенство  $G_{\text{загруж}} = G_{\text{получ}}$ .

Материальные расчеты стадий (операций), связанных с реализацией только физических процессов (фильтрация, сушка, перегонка, кристаллизация и т. п.) менее трудоемки. Ниже представлены типовые схематические структуры материального баланса стадий фильтрации и сушки химических продуктов (рис. 1.2 и 1.3).



Рис. 1.2. Структура материального баланса стадии фильтрации

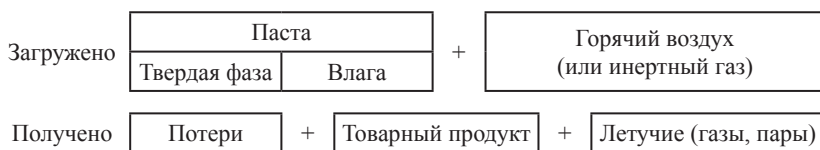


Рис. 1.3. Структура материального баланса стадии сушки

Как отмечалось ранее, одной из задач материальных расчетов является определение величин расходных коэффициентов по сырью. Расходный коэффициент по сырью — это суммарный расход отдельного вида сырья (по всем стадиям производства), приходящийся на единицу массы готового — товарного продукта. Результаты определения расходных коэффициентов по всем видам сырья и материалов представляются в виде таблицы.

Данные материальных расчетов по количествам и составу твердых отходов, сточных вод и газовых выбросов на единицу массы готового продукта целесообразно представить в виде таблицы.

Следует отметить, что при выполнении материальных расчетов сложных производств (например, с рециркуляцией сырья, растворителей, промывных вод и т. д.) целесообразно на начальном этапе работы составить схему-граф материальных потоков. Пример такого графа представлен на рис. 1.4.



Рис. 1.4. Схема-граф материальных потоков химического производства

### 1.2.5. Технологический расчет

Технологический расчет должен включать расчет и обоснование выбора всех единиц основного и вспомогательного оборудования, необходимого для аппаратурного оформления

проектируемого производства. На основании этих расчетов составляется ведомость спецификаций оборудования, в которой для стандартных видов оборудования указываются ГОСТы, ОСТы, ТУ и другие нормативные документы, а также приводятся краткая техническая характеристика установок, основные параметры работы, материал рабочей зоны и другие, наиболее важные сведения обо всех позициях оборудования. Общие подходы к расчетам приведены в [7, 10, 11, 14–16].

Цель технологических расчетов — определение производительности аппаратов, их объемов, количества и основных размеров. Исходными данными для технологических расчетов являются: годовая мощность производства (годовой объем выпускаемой продукции), суточная или (для непрерывных процессов) часовая производительность каждой ступени производства, длительность производственных операций (стадий).

При нестабильной экономической ситуации или в том случае, если студенту на практике не удалось познакомиться с маркетинговыми исследованиями (они зачастую являются коммерческой тайной предприятия), выбор мощности производства осуществляется совместно с руководителем и консультантом по экономике. Основной характеристикой аппарата для проведения жидкофазного процесса, определяющей производительность аппарата, является его объем.

Далее приводятся формулы для расчета объемов реакторов периодического и непрерывного действия.

### **Технологический расчет реакторов периодического действия**

Полный объем реактора периодического действия (РПД) может быть рассчитан по формуле

$$V_a = G_{\text{год}} \cdot V_{1\tau} \cdot (1 + z) \cdot \tau / N \cdot 24 \cdot \varphi \cdot n,$$

где  $V_a$  — расчетный объем аппарата, м<sup>3</sup>;

$G_{\text{год}}$  — годовой выпуск продукции, т;

$N$  — количество рабочих суток в году;

$V_{\text{лр}}$  — объем реакционной смеси, перерабатываемой на данной стадии производства для получения 1 т товарного продукта, м<sup>3</sup>/т,

$$V_{\text{лр}} = G_{\text{лр}} / \rho;$$

$z$  — запас производительности (в долях единицы), учитывающий внеплановые простои реактора; обычно  $z = 0,05\text{--}0,2$ ;

$\tau$  — период процесса, ч;

$\phi$  — коэффициент заполнения реактора, доли единицы;

$n$  — число аппаратов, устанавливаемых на данной стадии технологического процесса.

После нахождения расчетного объема аппарата по справочникам выбирают стандартный аппарат [17–19]. Иногда в пищевой промышленности используют нестандартное оборудование, поэтому для расчетов и выбора, например, оборудования пивоварения рекомендуется пользоваться специальной литературой [20]. Для проектирования станций биологической очистки воды руководствуются СНиП [21].

Величина  $N$  не должна быть равной 365 дням. На производстве запланированы дни для проведения планово-предупредительного ремонта (ППР). В зависимости от характера процесса, проводимого в реакторе, необходимо выделять 1–3 дня в месяц для ППР. Итого:  $N = 365 - 24 (36) = 341 (329)$  дней. При неполной загрузке производства (например, проектная мощность производства составляет 70 т/год, а рынком востребовано лишь 53 т/год) величина  $N$  берется из фактических данных. В совмещенных производствах (например, производство поливитаминных драже — ревит, гексавит и т. п.) необходимо проводить расчет величины  $N$  исходя из объема реактора (обдуктора) в лимитирующей стадии. Таким образом, расчет имеет обратную последовательность для основного реактора. В научно-исследовательских ВКР, как правило, выбирается реактор в лимитирующей стадии объемом 10–63 л.

Проводится расчет величины  $N$ , обычно для опытно-промышленной схемы эта величина составляет 10–15 дней. Остальная аппаратура рассчитывается уже исходя из найденной величины  $N$ . Мерники объемом меньше 10 л не приводятся в аппаратурной схеме производства, раствор заливают через загрузочный штуцер мерным цилиндром или рассчитывают мерник на 5–10 операций с одной загрузкой из хранилища. В пищевых и некоторых производствах лекарственных субстанций в величину  $\tau$  включают время на мойку и дезинфекцию аппаратуры.

### Расчет мерников

Для расчета полного объема  $V_{\text{мер}}$  мерника можно рекомендовать формулу

$$V_{\text{мер}} = G_{\text{опер}} / \rho_i \cdot \varphi_{\text{мер}},$$

где  $G_{\text{опер}}$  — масса операционной загрузки  $i$ -го вида сырья в реактор, кг/опер;

$\rho_i$  — плотность  $i$ -го вида сырья, кг/м<sup>3</sup>;

$\varphi_{\text{мер}}$  — коэффициент заполнения мерника для  $i$ -го вида сырья, доли единицы (как правило,  $\varphi = 0,9$ ).

### Расчет объема хранилищ жидких веществ

Полный объем хранилища для  $i$ -го вида жидкого сырья  $V_a$  рассчитывают по формуле

$$V_{\text{хран}} = V_{\text{сут}} \cdot Y / \varphi_{\text{хран}},$$

где  $V_{\text{сут}}$  — суточный объемный расход  $i$ -го вида сырья, м<sup>3</sup>/сут;

$Y$  — коэффициент запаса хранимого  $i$ -го вида жидкого сырья, сут;

$\varphi_{\text{хран}}$  — коэффициент заполнения хранилища, доли единицы (обычно 0,9).

Величина  $Y$  зависит от ограничений, обусловленных правилами техники безопасности, и от частоты поставок сырья в цех, и может составлять от 2 до 30 сут.

Величины  $\varphi_{\text{ап}}$  приведены в табл. 1.3.



Таблица 1.3

**Рекомендуемые величины  $\varphi_{\text{ап}}$  для различных аппаратов**

Тип аппарата	$\varphi_{\text{ап}}$
Хранилища, мерники и другие аппараты без перемешивания	0,85–0,90
Аппараты, снабженные перемешивающими устройствами	0,75–0,80
Аппараты, для которых велика вероятность вспенивания, спонтанного увеличения объема или даже выброса реакционной массы	0,40–0,60
Аппараты для процессов брожения	0,90–0,97

Стандартные мерники и хранилища выбирают по справочникам [17–19].

### Технологический расчет реакторов непрерывного действия

Рабочий объем  $V_p$  реактора непрерывного действия определяют по формуле

$$V_p = W_{\text{см}} \cdot \tau,$$

где  $W_{\text{см}}$  — часовой объем подаваемой в реактор смеси реагентов;  
 $\tau$  — время пребывания реакционной массы в реакторе, ч.

$$W_{\text{см}} = G_{\text{см}} / \rho_{\text{см}}, \text{ м}^3/\text{ч},$$

где  $G_{\text{см}}$  — часовая масса смеси реагентов, т/ч (из материального баланса соответствующей стадии);

$\rho_{\text{см}}$  — плотность реакционной смеси, т/м<sup>3</sup> (опытные данные).

Методы определения продолжительности реакции в реакторе полного вытеснения (РПВ) ( $\tau_v$ ) или в реакторе полного смешения (РПС) ( $\tau_{\text{см}}$ ) в общем виде описаны в [6–9, 12–15]. В этом пособии рассмотрены более конкретные данные, необходимые для проведения расчета.

Полный объем РПС  $V_a$  связан с его рабочим объемом  $V_p$  через коэффициент заполнения:  $V_a = V_p / \varphi$ .

Рекомендуемые величины  $\varphi$  приведены в табл. 1.2, а для РПВ  $\varphi = 1$ .

Как и для случая РПД, расчетный объем РПС  $V_a^{\text{РПС}}$  округляют до ближайшего стандартного объема:  $V_a^{\text{РПС}} < V_{\text{ГОСТ}}$

При использовании в качестве РПВ трубчатки (в виде змеевика) после расчета  $V_p$  определяют диаметр трубы реактора  $d_{\text{тр}}$  по формуле

$$d_{\text{тр}} = 4 \cdot W_{\text{см}}^c \cdot \rho_{\text{см}} / \pi \cdot \text{Re} \cdot \mu,$$

где  $W_{\text{см}}^c$  — секундный объем реакционной смеси, подаваемой в реактор, м<sup>3</sup>/с,

$$W_{\text{см}}^c = W_{\text{см}} / 3\,600;$$

$\rho_{\text{см}}$  — плотность реакционной смеси, кг/м<sup>3</sup>;

$\text{Re}$  — критерий Рейнольдса, принимаемый с учетом требуемого характера движения потока (при турбулентном движении  $\text{Re} > 2\,300$ );

$\mu$  — коэффициент динамической вязкости реакционной массы, Па · с.

Полученную расчетную величину  $d_{\text{тр}}$  округляют до ближайшего большего значения условного прохода ( $d_y$ ) трубы по ГОСТ.

Выбрав  $d_y$ , определяют линейную скорость движения реакционной массы в трубе-реакторе по формуле

$$\omega = 4 \cdot W_{\text{см}}^c / d_y^2, \text{ м/с.}$$

Длина реакционной зоны  $L_p$  трубчатого реактора рассчитывается по формуле

$$L_p = \omega \cdot \tau_b, \text{ м.}$$

*Ведомость спецификаций* оборудования оформляется в виде таблицы, приведенной в Приложении 14. Для отдельных групп оборудования и средств измерений рекомендуется приводить следующие данные:

- для хранилищ, сборников и мерников — вид (особенности конструкции), вместимость, способ приема продукта (залив, заполнение под вакуумом, накачивание насосом и т. п.), способ передачи продукта в другой аппарат (спуск

самотеком, передавливание сжатым газом и т. п.); если сосуды работают под давлением, указывают рабочее давление; вид смотрового или мерного приспособления; если для измерения поступающих в аппарат жидкостей вместо мерника используют автоматическое устройство, смонтированное непосредственно на трубопроводе, то в характеристике такого устройства приводят производительность и габаритные размеры;

- для автоклавов, реакторов, выпарных аппаратов — вид реактора (особенность конструкции, рабочее давление, вместимость, для аппаратов непрерывного действия — производительность), способ нагрева или охлаждения с указанием площади поверхности теплообмена или способа измерения температуры, вид и частота вращения мешалки, способ загрузки и выгрузки;
- для теплообменников (нагревателей и холодильников) — вид конструкции (змеевиковый, трубчатый, «труба в трубе», пластинчатый и т. п.), поверхность теплообмена, рабочие параметры ( $p$  и  $T$ );
- для фильтровальной аппаратуры — конструкцию фильтра, фильтрующий материал, площадь фильтрующей поверхности, максимальная масса (объем) отфильтрованного продукта (осадка), производительность для фильтров непрерывного действия;
- для ректификационных колонн — вид конструкции (тарельчатые, насадочные, ротационные и т. д., периодического или непрерывного действия), высота, диаметр, число и форма тарелок для тарельчатых колонн; диаметр, высота, способ образования пленки для пленочных колонн, способ нагрева и охлаждения с указанием поверхности теплообмена, рабочего давления;
- для сушилок — вид конструкции (камерная, валковая, вакуумная, с псевдокипящим слоем, распылительная и т. п.), производительность, способ нагрева и площадь поверхно-

- сти нагрева, способ загрузки и выгрузки, габаритные размеры;
- для размольного оборудования — конструкция, производительность, способ загрузки и выгрузки, габаритные размеры, приспособление по предотвращению пылевыведения;
  - для вспомогательного стандартного оборудования — компрессоров, воздуходувок, насосов для транспортирования продукта, вакуумных насосов, оборудования холодильных установок — тип (особенности конструкции), производительность и потребляемая мощность;
  - для оборудования, применяемого на участках изготовления готовых форм лекарственного средства — таблеток, драже, ампул и т. п., а также для фасовки и упаковки продукции — тип, марка, производительность;
  - для контрольно-измерительных и регулирующих приборов — тип (вид регулирования), диапазон измерений, класс точности, особенности исполнения прибора и его работы;
  - для транспортных приспособлений — конструкция, производительность;
  - для электрических и электрифицированных аппаратов и приборов, устанавливаемых в блоках всех категорий взрывоопасности, необходимо дополнительно указывать исполнение изделия по взрывозащите.

### **1.2.6. Другие разделы ВКР**

В разделе «Безопасность жизнедеятельности» ВКР бакалавра, как правило, указываются ПДК использованных реагентов и предусматривается описание действий при внештатной ситуации, приводится краткое описание стадий обезвреживания отходов.

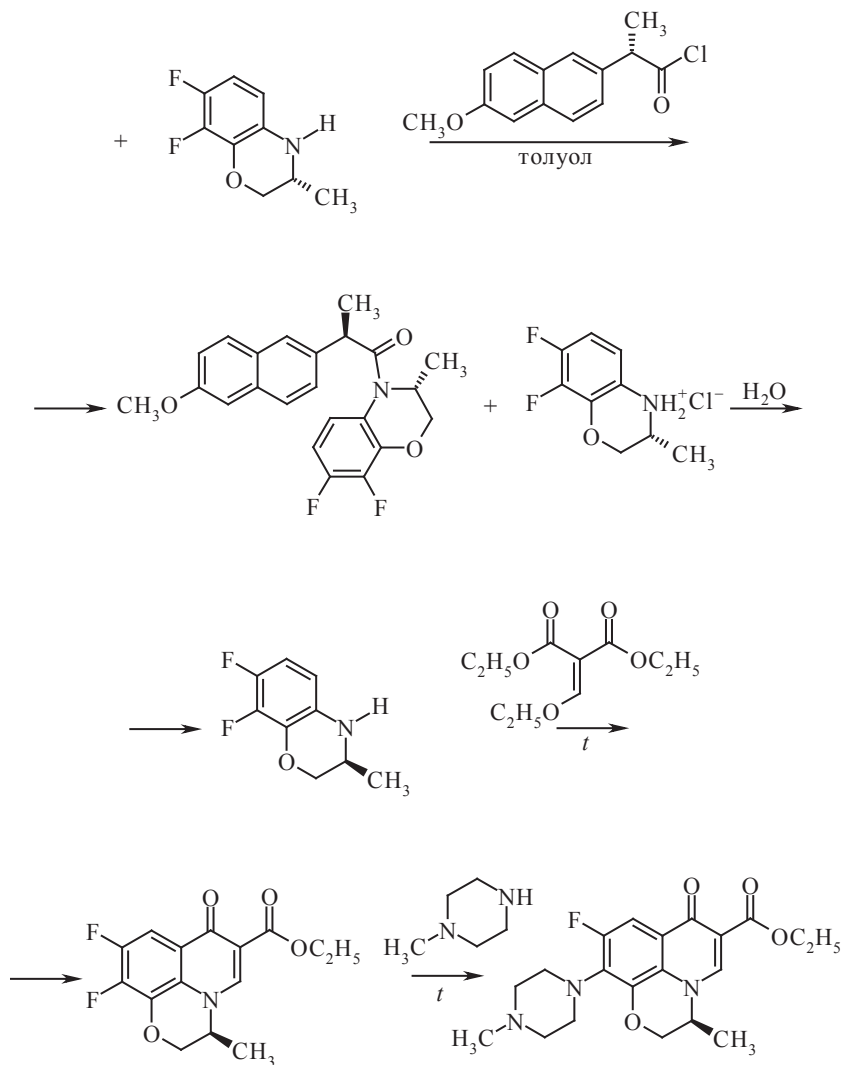
В разделе «Экономическое обоснование» приводится расчет основных экономических показателей (себестоимости, рентабельности, сроков окупаемости капитальных вложений, точки безубыточности и др.).

ВКР бакалавра заканчивают следующими разделами:

- заключение (выводы);
- библиографический список (пример оформления в разделе 3);
- приложение.

В *приложениях*, например, размещают чертеж аппаратурной схемы производства, выполненный в подходящем масштабе в соответствии с методическими указаниями [9]. Пример оформления аппаратурной схемы приводится в Приложении 15. Также в приложение могут быть вынесены рисунки, таблицы и фотоматериалы.





Рассмотрена первая стадия синтеза. В примере 1 приведено описание технологического процесса в совмещенной опытно-промышленной схеме.

**Пример 1.** Стадия ТП-1. Реакция замещения одного из атомов фтора на гидроксигруппу (табл. 2.1).

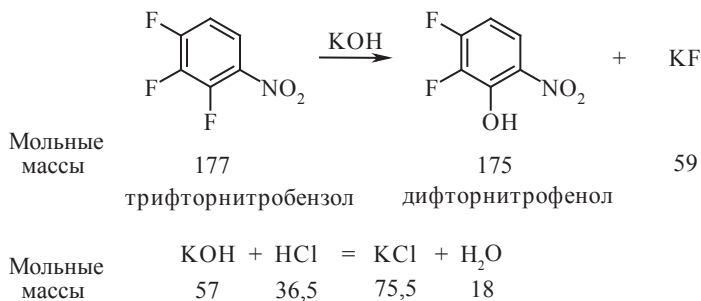


Таблица 2.1

**Стадия ТП 1. Реакция замещения**

Наименование полупродуктов и сырья	Содержание основного вещества, %	Загружено				
		Масса, г			Объем, мл	Коли- чество, шт.*
		техни- ческая	основного вещества	г/моль		
Израсходовано на стадии (суммарно)						
А. Сырье						
1. Трифторнитро- бензол, в т. ч.: примеси	97	308	300 8	1,69	200	—
2. ДМСО, в т. ч.: примеси	99	3 300	3 250 50	—	3 000	—
3. КОН, в т. ч.: КОН вода	20	2 500 500 2 000	500	—	2 107	—
4. HCl, в т. ч.: HCl вода	18	2 388 430 1 958	430	—	2 195	—
5. Вода	100	15 000	15 000	—	15 000	—
6. Вода на про- мывку осадка	100	1 000	1 000	—	1 000	—
Итого		24 496			23 502	



Окончание табл. 2.1

Наименование полупродуктов и сырья	Содержание основного вещества, %	Загружено				
		Масса, г			Объем, мл	Коли- чество, шт.*
		техни- ческая	основного вещества	г/моль		
Получено на стадии (суммарно)						
Б. Реакционная масса (оса- док), в т. ч.: ДНФ ДМСО KF HCl примеси вода	—	396	260 5 98 11 8 14	—	—	—
В. Отходы Фильтрат, в т. ч.: вода ДМСО KCl ДНФ HCl примеси	—	24 096	20 128 3 245 546 27 100 50		23 502	—
Г. Механические потери, в т. ч.: ДНФ	—	4	3	—	—	—
Итого		24 196			23 502	

\* Указывается только в стадиях по получению готовых форм.

Загружают с помощью мерного цилиндра через люк (загрузочный штуцер) в реактор Р-1 трифторнитробензол объемом 200 мл и под вакуумом диметилсульфоксид из хранилища Хр-2 в мерник М-3 объемом 15,0 л (мерники М-3, М-5 и М-9 заполняют на 5 операций). Из мерника М-3 самотеком подается в реактор Р-1 3,0 л диметилсульфоксида. Загружают из сборника Сб-4 при помощи вакуума 20 %-ный раствор КОН объемом 11,5 л в мерник М-5. Прибавляют самотеком 2,3 л раствора КОН из мерника М-5 в реактор Р-1 и контролируют температуру процесса

(20–25 °С, КТ-1). Выдерживают реакционную массу при включенной мешалке и температуре  $22 \pm 4$  °С в течение 5 ч. В реактор Р-1 добавляют самотеком дистиллированную воду объемом 15 л, предварительно загруженную при помощи вакуума в мерник М-7 из хранилища Хр-6. Загружают под давлением из сборника Сб-8 в мерник М-9 11 л 18 %-ного раствора НСl. Охлаждают реакционную массу водой, когда температура реакционной массы в реакторе Р-1 опустится до 10 °С, начинают прибавлять самотеком из мерника М-9 18 %-ный раствор НСl объемом 2,2 л. Добавляют соляную кислоту до значения рН 1 (КТ-2). Полученную массу передают на стадию фильтрации. Осадок отфильтровывают на нутч-филт্রে Ф-10, промывают холодной водой объемом 1 л. Пасту сушат в полочной камере С-12 при комнатной температуре.

Для справки: мерники М-3, М-5 и М-9 — из данных технологического расчета приняты емкостью 15 л, М-3, М-5 — из нержавеющей стали, а М-9 — из поливинилхлорида (соляная кислота!).

В качестве второго примера приводится описание одной из стадий производства (ТП 3.3) антибиотика тобрамицина.

**Пример 2.** Стадия ТП 3.3. Стерилизация среды и ведение процесса биосинтеза. Количество израсходованных и полученных веществ на стадии ТП 3.3 представлено в табл. 2.2.

Питательную среду из сборника Сб-13 насосом Н-15 передают через патронный фильтр Ф-14 на установку непрерывной стерилизации УНС-20 с системой рекуперации тепла, которая состоит из колонки-нагревателя Ст-18, змеевика-выдерживателя Ст-19 и теплообменников «труба в трубе» Т-17, Т-20 и Т-21.

Теплообменники (Т-17, Т-20 и Т-21) до колонки и после выдерживателя связываются по межтрубному пространству циркуляционным контуром, заполненным обессоленной водой (чистым конденсатом). Циркуляция в контуре обеспечивается насосом Н-16, а давление поддерживается за счет установки расширительного диафрагменного бачка и периодической подпитки. После цикла загрузки циркуляционный насос выключается, и межтрубное пространство теплообменника Т-20 опорожняется

за счет слива конденсата в емкость Сб-23. Установка непрерывной стерилизации (УНС) ставится в режим стерилизации.

Таблица 2.2

**Стадия ТП 2.2. Выращивание мицелия в ферментаторе**

Наименование полупродуктов и сырья	Массо- вая доля основного вещества, %	Загружено			
		Масса, кг		Плот- ность, г/л	Объем, л
		техниче- ская	основного вещества		
Израсходовано на стадии					
1. Питательная среда (стерильная)	—	2 340,6	—	—	35 383,4
2. Посевной материал		209,8	—		
3. Стерильный воздух		45 644,6	—		
4. Пеногаситель		200	—		
Итого		50 195,0			
Получено на стадии					
1. Культуральная жидкость (γ = 750 м. е.), в т. ч.: тобрамицин	—	1 289,7	— 0,8	1,1	1 172,45
2. Отработанный воздух, в т. ч.: воздух влага		47 105,6	45 644,6 1 460,7	—	
Итого		50 195,0			

Предварительно перед каждой загрузкой среды УНС-20 вместе с материальной линией подачи стерильной среды в ферментатор проверяют на герметичность давлением пара 0,5 МПа, проверяют состояние насосов и КИП. Затем УНС-20 с коммуникациями стерилизуют острым паром при 140–150 °С и давлением 0,27–0,30 МПа (КТ-1). По окончании стерилизации УНС-20 ведут стерилизацию среды.

Перед нагревательной колонкой Ст-18 питательная среда проходит через трубное пространство теплообменника Т-17, подогревается перегретой водой, под давлением 3 кгс/см<sup>2</sup> и температурой

125 °С до температуры 95 °С (КТ-2). Во время стерилизации среды давление пара перед колонкой должно быть не менее 0,5 МПа, а температура среды в колонке-нагревателе Ст-18 не менее 140–150 °С. Нагретая до 140 °С среда поступает в змеевик-выдерживатель Ст-19, время выдержки 2–3 мин. Давление среды на выходе из выдерживателя должно быть не менее 0,3 МПа, а температура 135–138 °С (КТ-3). Время выдержки 4–6 мин. Затем среда поступает в теплообменник Т-20, где охлаждается оборотной водой до температуры 110 °С, а оборотная вода нагревается до 125 °С (КТ-4). Затем стерильная среда поступает в теплообменник Т-21, где охлаждается оборотной водой. Далее, из теплообменника Т-21 питательная стерильная среда насосом Н-16 подается в ферментатор Р-24. Вслед за концентратом среды на УНС-20 насосами Н-24 и Н-16 подают промывную воду для получения общего объема в ферментаторе Р-24 47 250 л.

В ферментаторе Р-24 среду дополнительно охлаждают до температуры  $(37 \pm 1)$  °С (КТ-5) путем подачи холодной воды в рубашку аппарата. Во время приема среды и охлаждения в ферментаторе Р-24 поддерживается избыточное давление воздуха  $(0,04 \pm 0,01)$  МПа стерильным сжатым воздухом (КТ-6).

Для контроля за качеством загружаемой среды из аппарата через пробоотборник отбирают пробу с соблюдением асептических условий.

Среда должна быть стерильной и иметь следующие показатели:

- глюкоза, % — 1,4–1,6 (КТ-7);
- аммонийный азот — до 180 мг (КТ-8);
- рН — 6,7–7,4 (КТ-9).

Посевным материалом для засева среды служит посевной материал, выращенный в посевном аппарате П-12. Передачу посевного материала из посевного аппарата П-12 осуществляют сразу после приема и охлаждения среды по посевной линии за счет разницы давлений в посевном аппарате П-12 и ферментаторе Р-24. Посевная доза составляет 15 % от объема ФПС, т. е. 209,8 кг.

Перед засевом ферментатора Р-24 к штуцеру на линии ввода пеногасителя в асептических условиях подсоединяют флакон с пеногасителем М-28, оборудованный спецмонтажом.

Посевную линию перед подачей проверяют на герметичность и стерилизуют в течение 1 ч паром при 0,22–0,27 МПа (по манометру линии) и температуре 135–140 °С. После пересева посевную линию ставят под давление пара 0,3 МПа до следующей операции пересева.

Процесс биосинтеза проводят при следующих параметрах:

- температура, °С —  $37 \pm 1$  (КТ-8);
- давление, МПа —  $0,03 \pm 0,02$  (КТ-9);
- расход воздуха, подаваемого на аэрацию, дм<sup>3</sup>/мин:
  - а) от 0 до 60 ч — 45 (КТ-10);
  - б) от 60 до 120 ч — 30 (КТ-10);
- частота вращения мешалки, с<sup>-1</sup>:
  - а) от 0 до 60 ч — 4,5 (КТ-11);
  - б) от 60 до 120 ч — 3,1 (КТ-11);
- продолжительность биосинтеза, ч — 96–120 (КТ-12);
- температура подаваемого воздуха, °С — 50–60 (КТ-13);
- перемешивание непрерывное.

Все параметры процесса биосинтеза, а также отклонения от заданного режима аппаратчик регистрирует в журнале ведения технологического процесса.

В процессе биосинтеза необходимо тщательно следить за сохранением стерильности в аппарате, для чего нижний узел ферментатора, отводы загрузочной и посевной линий в течение всего процесса держат под паром.

При вспенивании культуральной жидкости (КЖ) пеногашение осуществляют следующим образом:

- подают порционно стерильный пеногаситель из мерника М-28 (общее количество введенного пеногасителя за всю продолжительность биосинтеза не должно превышать 0,4 % от объема КЖ, т. е. не более 200,0 л);
- увеличивают давление в аппарате до 0,05–0,06 МПа Р-24 (КТ-14).

Для контроля за развитием продуцента и накоплением антибиотика от момента засева ферментационной питательной среды (ФПС) через каждые 8 ч из ферментатора Р-24 через пробоотборник с соблюдением асептических условий отбирают пробы КЖ в следующей последовательности:

- создают в ферментаторе Р-24 давление в пределах  $(0,02 \pm 0,01)$  МПа;
- открывают вентиль на линии отбора проб и осуществляют отбор в стерильный флакон;
- по окончании отбора пробы открывают вентиль на линии подачи пара и пропаривают резиновую трубку в течение 10–15 мин, после чего конец резиновой трубки пережимают двумя зажимами Кохера.

В пробах определяют (КТ-15):

- стерильность (по мазкам, КТ-16);
- морфологическое состояние культуры (КТ-17);
- содержание глюкозы (КТ-7);
- содержание аммонийного азота (КТ-8);
- накопление биомассы (КТ-18);
- pH (КТ-9);
- активность антибиотика (КТ-19).

Об окончании процесса биосинтеза судят по совокупности следующих показателей:

- прекращение накопления антибиотика в КЖ;
- увеличение содержания аммонийного азота;
- морфологическое состояние культуры — начало автолиза;
- увеличение pH на 0,2–0,5 по сравнению с предыдущей пробой (Р-24).

Культуральная жидкость в конце ферментации должна соответствовать следующим требованиям:

- внешний вид: гомогенная, средней густоты нерасслаивающаяся жидкость светло-коричневого цвета;
- отсутствие посторонней микрофлоры;
- pH 7,2–8,0;
- содержание тобрамицина — не менее 1 000 мкг/м<sup>3</sup>.

Контроль за развитием продуцента и накоплением антибиотика осуществляет микробиолог. Результаты анализа микробиолог записывает в технологический журнал контроля процесса биосинтеза.

Культуральная жидкость, соответствующая требованиям, передается насосом Н-25 на следующую стадию.

Процесс ферментации проходит в стерильных условиях, поэтому описание технологического процесса довольно непростое.

Еще один пример описания технологического процесса на стационарной промышленной установке приведен далее.

**Пример 3.** ТП 4. Бутилацетатная экстракция тилозина из нативного раствора на экстракторе-сепараторе «Alfa-Laval» (табл. 2.3).

Таблица 2.3

**Бутилацетатная экстракция тилозина**

Наименование полупродуктов и сырья	Мас- совая доля веще- ства, %	Загружено			
		Масса, кг		Плот- ность, г/л	Объем, л
		техниче- ская	в 100 % исчислении вещества		
Израсходовано на стадии					
А. Полупродукты Нативный раствор тилозина, в т. ч.: тилозин	0,226	40 600,0	91,7	1,015	40 000,0
Б. Сырье					
1. Бутилацетат	98,0	15 660,0	15 346,8	0,87	18 000
2. Раствор натра едкого	20,0	244,0	48,8	1,22	200
Итого		56 504,0			58 200
Получено на стадии					
А. Полупродукты Бутилацетатный экстракт тилозина, в т. ч.: тилозин	0,537	16 425,0	84,5	0,87	17 500,0
Б. Отходы					
Отработанный нативный раствор тилозина, в т. ч.: тилозин	0,017	39 895,0	7,0	1,01	39 500,0
В. Потери за счет инактивации		184,0	0,3		
Итого		56 504,0			57 000,0

Нативный раствор (н. р.) в количестве 40 000 л из сборника Сб-20 участка фильтрации принимают в сборник Сб-1. Температура нативного раствора в сборнике Сб-1 должна поддерживаться от 35 до 40 °С подачей раствора в рубашку сборника. Нативный раствор из сборника Сб-1 насосом Н-2 подают в насос Н-3. Одновременно на насос Н-3 через ротаметр КП-3 поступает 244 л раствора едкого натра с массовой долей 20 %, передаваемого насосом Н-4 из сборника Сб-4. Из насоса Н-3 смесь компонентов (нативный раствор и раствор едкого натра) поступает в экстрактор-сепаратор «Alfa-Laval» С-5, одновременно на экстрактор-сепаратор С-5 подают бутилацетат (18 000 л) сжатым азотом из сборника Сб-6. Расход нативного раствора с активностью по антибиотику 75 500 ЕД/мл (0,225 млрд ЕД) на один экстрактор-сепаратор в пределах от 2 до 5 м<sup>3</sup>/ч по ротаметру (КТ-1).

Расход едкого натра регулируют так, чтобы рН отработанного нативного раствора был от 9,2 до 9,5 (КТ-2). Расход бутилацетата регулируют так, чтобы активность тилозина в бутилацетатном экстракте была от 5 000 ЕД/мл (КТ-3). Бутилацетат, используемый на экстракции тилозина, должен удовлетворять следующим требованиям:

- плотность не более 1,015 кг/м<sup>3</sup> (ареометром типа АОН 1) при 20 °С;
- объемная доля влаги в бутилацетате не более 1,5 %.

В процессе экстракции через каждые 60 мин отбирают пробы для определения следующих показателей:

- величина отобранного нативного раствора должна быть от 9,2 до 9,5 (КТ-4). Величину рН регулируют раствором едкого натра;
- активность тилозина в бутилацетатном экстракте должна быть от 5 000 ЕД/мл (КТ-5).

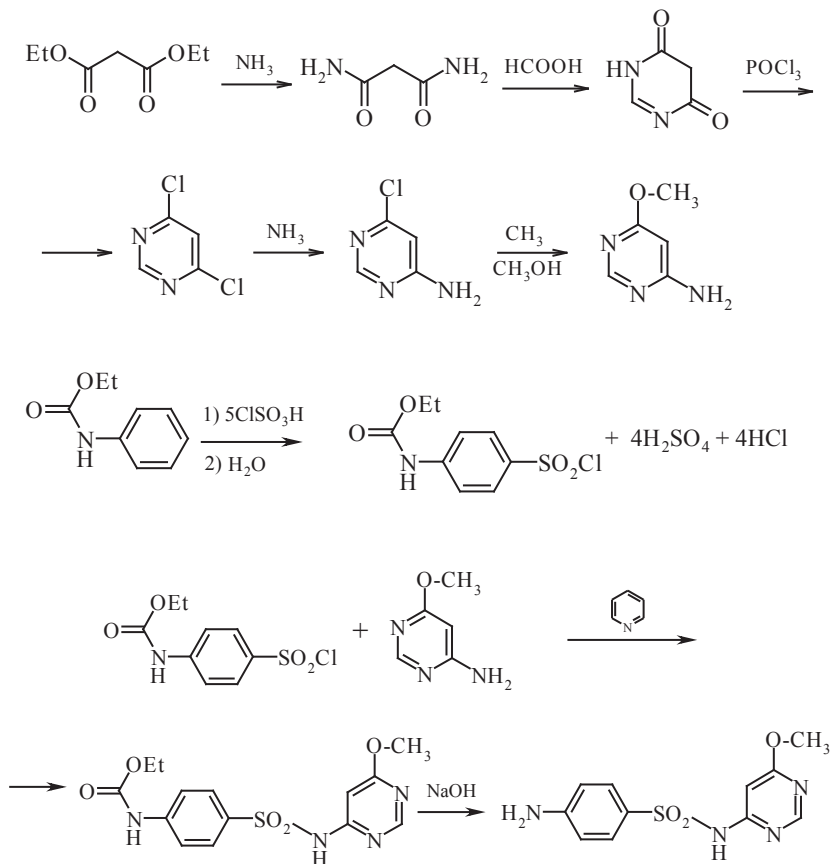
Отработанный нативный раствор собирают в Сб-7, откуда он поступает на виннокислую экстракцию ТП 5.

Описание химических процессов на стационарных промышленных схемах ведут аналогично с указанием контрольных точек.

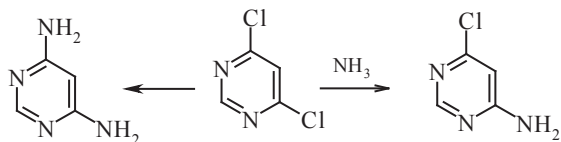


## 2.2. Примеры расчетов материального баланса

В качестве примера расчета приведена одна из стадий получения сульфамонетоксина. Его полный синтез:



Однако при проведении реакции аминирования дихлорпиримидина аммиаком наряду с основной реакцией идет и побочная — замещаются на аминогруппу оба атома хлора:



На примере реакции аминирования дихлорпиримидина (ДХП) рассмотрим расчет материального баланса.

**Пример 1.** Материальный баланс производства 4-амино-6-хлорпиримидина.

Краткое описание процесса: 4-амино-6-хлорпиримидин (АХП) — полупродукт производства сульфамометоксина — получают взаимодействием 4,6-дихлорпиримидина (ДХП) с водным раствором аммиака при 50 °С и избыточном давлении 0,1–0,2 МПа. После охлаждения и удаления из реакционной массы избытка аммиака АХП отфильтровывают, промывают на фильтре водой и сушат до остаточной влажности не более 2 %. Технический продукт передают на следующую стадию производства сульфамометоксина. Первой контрольной точкой производства является отсутствие в реакционной массе дихлорпиримидина.

1) Составим схему-граф материальных потоков данного производства (рис. 2.1).

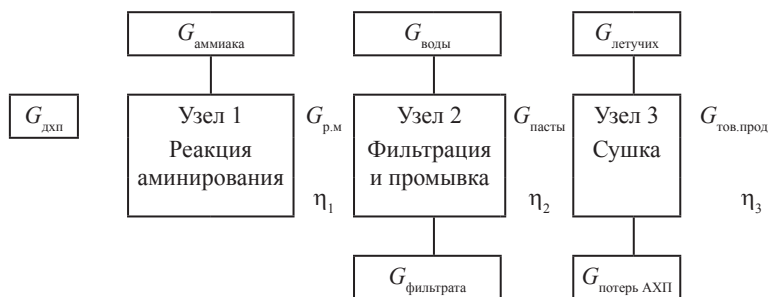


Рис. 2.1. Схема-граф материальных потоков производства АХП

При проведении расчета все знаки после запятой округляются до первой значащей цифры. Так, например, было получено количество исходного вещества ДХП — 1 386,4121 кг. В расчет берется

1 386,4 кг. Возможны случаи накопления таких округлений, которые приводят к несхождению баланса загруженных и полученных веществ. Тогда один из полученных результатов расчета округляется в обратную сторону.

2) Исходные данные:

- масштаб расчета — 1 000 кг (1 т) технического АХП;
- состав технического АХП: 100 %-ного АХП — 97 %, влаги — 2 %, примесей — 1 %;
- стадии процесса и выходы по стадиям:
  - $\eta_1$  — реакция аминирования ДХП — 83 %;
  - $\eta_2$  — фильтрация и промывка АХП — 98 %;
  - $\eta_3$  — сушка АХП — 99 %.

Общий выход:  $\eta_{\text{общ}} = \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3 = 0,83 \cdot 0,98 \cdot 0,99 = 0,805$  (80,5 %);

- состав ( $\gamma$ ) и удельные загрузки сырья ( $g$ ) кг/кг 100 %-ного ДХП:
  - состав ДХП технического: основное вещество ( $\gamma_{\text{ДХП}}$ ) — 75 % (0,75), влага ( $\gamma_{\text{влаги}}$ ) — 20 % (0,20), примеси ( $\gamma_{\text{прим}}$ ) — 5 % (0,05);
  - состав водного раствора аммиака: аммиак ( $\gamma_{\text{ам}}$ ) — 25 % (0,25), вода ( $\gamma_{\text{воды}}$ ) — 75 % (0,75);
  - удельная загрузка раствора аммиака ( $g_{\text{ам}}$ ) = 0,8 кг/кг;
  - удельный расход воды на промывку АХП ( $g_{\text{воды}}$ ) = 2,1 кг/кг;
  - доля аммиака, удаляемого из реакционной массы через систему улавливания:  $a = 98$  %.

3) Определение расхода ключевого продукта (ДХП).

Молярные массы ДХП и АХП:  $M_{\text{ДХП}} = 149$ ,  $M_{\text{АХП}} = 129,5$ .

Количество исходного ключевого вещества (ДХП) определяется из следующего соотношения:

$$G_{\text{ДХП}} = G_{\text{АХП}} \cdot M_{\text{ДХП}} / M_{\text{АХП}} \cdot \eta_1 = 970 \cdot 149 / 129,5 \cdot 0,805 = 1\,386,4 \text{ кг.}$$

Масса технического ДХП:

$$G_{\text{ДХПтехн}} = G_{\text{ДХП}} / \gamma_{\text{ДХП}} = 1\,386,4 / 0,75 = 1\,848,5 \text{ кг.}$$

Влаги в загруженном ДХП:

$$G_{\text{влаги}} = G_{\text{ДХП}} \cdot \gamma_{\text{влаги}} = 1\,848,5 \cdot 0,2 = 369,7 \text{ кг.}$$

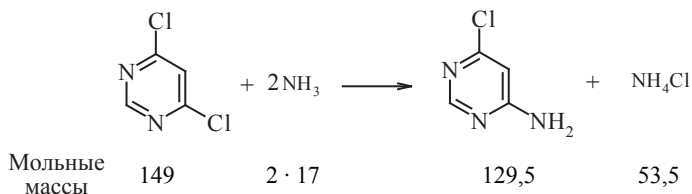
Примеси, внесенные с исходным ДХП:

$$G_{\text{прим}} = G_{\text{ДХП}} \cdot \gamma_{\text{прим}} = 1\,848,5 \cdot 0,05 = 92,4 \text{ кг.}$$

4) Расчет материального баланса по стадиям (узлам).

**Узел 1.** Стадия аминирования ДХП.

Химизм основного процесса

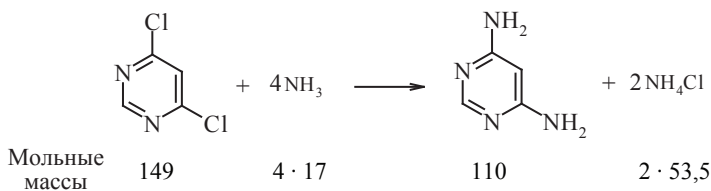


Проверка баланса мольных масс:

$$M_{\text{загруз}} = 149 + 2 \cdot 17 = 183, \quad M_{\text{получ}} = 129,5 + 53,5 = 183, \text{ т. е.}$$

$$M_{\text{загруз}} = M_{\text{получ}}$$

Химизм побочного процесса



Как правило, в ВКР или курсовом проекте проверка баланса мольных масс не приводится, но проводить ее необходимо во избежание ошибок в расчете.

**ЗАГРУЖЕНО** (определение количеств загруженных веществ)

Из приведенного выше расчета загрузки исходного сырья следует:

$$1. \text{ ДХП технического} \quad G_{\text{ДХПтехн}} = 1\,848,5 \text{ кг,}$$

в том числе:

$$\text{ДХП 100 \% -ного} \quad G_{\text{ДХП}} = 1\,386,4 \text{ кг;}$$

$$\text{влаги} \quad G_{\text{влаги}} = 369,7 \text{ кг;}$$

$$\text{примесей} \quad G_{\text{прим}} = 92,4 \text{ кг.}$$

2. Аммиака 100 %-ного:

$$G_{\text{ам}} = G_{\text{ДХП}} \cdot g_{\text{ам}} = 1\,386,4 \cdot 0,8 = 1\,109,1 \text{ кг.}$$

Водного раствора аммиака:

$$G_{\text{ам.водн}} = G_{\text{ам}} / \gamma_{\text{ам}} = 1\,109,1 / 0,25 = 4\,436,5 \text{ кг.}$$

Масса воды в растворе аммиака:

$$G_{\text{в}} = G_{\text{ам.водн}} - G_{\text{ам}} = 4\,436,5 - 1\,109,1 = 3\,327,4 \text{ кг.}$$

Итого загружено:

$$G_{\text{загруж}} = G_{\text{ДХПтехн}} + G_{\text{ам.водн}} = 1\,848,5 + 4\,436,5 = 6\,285,0 \text{ кг.}$$

ПОЛУЧЕНО (определение количеств полученных веществ)

Вступило в основную реакцию исходного соединения (ДХП):

$$G_{\text{ДХПпреаг}} = G_{\text{ДХП}} \cdot \eta_1 = 1\,386,4 \cdot 0,83 = 1\,150,7 \text{ кг.}$$

Остаток ДХП, вступившего в побочную реакцию:

$$G_{\text{ДХПпост}} = G_{\text{ДХП}} - G_{\text{ДХПпреаг}} = 1\,386,4 - 1\,150,7 = 235,7 \text{ кг.}$$

Вступило аммиака по основной реакции:

$$G_{\text{ам.реаг}} = G_{\text{ДХПпреаг}} \cdot 2 \cdot M_{\text{ам}} / M_{\text{ДХП}} = 1\,150,7 \cdot 2 \cdot 17 / 149 = 262,6 \text{ кг.}$$

Вступило аммиака по побочной реакции:

$$G_{\text{ам.реаг}} = G_{\text{ДХПпреаг}} \cdot 4 \cdot M_{\text{ам}} / M_{\text{ДХП}} = 235,7 \cdot 68 / 149 = 107,6 \text{ кг.}$$

Итого прореагировало аммиака:  $262,6 + 107,6 = 370,2 \text{ кг.}$

Осталось непрореагировавшего аммиака:

$$G_{\text{ам.нреаг}} = G_{\text{ам}} - G_{\text{ам.реаг}} = 1\,109,1 - 370,2 = 738,9 \text{ кг.}$$

Количество аммиака, удаленного из реакционной массы через систему улавливания:

$$G_{\text{ам.скруб}} = G_{\text{ам.нреаг}} \cdot a = 738,9 \cdot 0,98 = 724,1 \text{ кг.}$$

Остаток аммиака в реакционной массе:

$$G_{\text{ам.ост}} = G_{\text{ам.нреаг}} - G_{\text{ам.скруб}} = 738,9 - 724,1 = 14,8 \text{ кг.}$$

В результате реакции образуется:

основного продукта АХП (4-амино-6-хлорпиримидина):

$$G_{\text{АХП}} = G_{\text{ДХП}} \cdot M_{\text{АХП}} / M_{\text{ДХП}} = 1\,150,7 \cdot 129,5 / 149 = 1\,000,1 \text{ кг;}$$

хлористого аммония (по основной реакции):

$$G_{\text{ХА}} = G_{\text{ДХП}} \cdot M_{\text{ХА}} / M_{\text{ДХП}} = 1\,150,7 \cdot 53,5 / 149 = 413,2 \text{ кг;}$$

продукт побочной реакции (4,6-диаминопиримидин, ДАМ):

$$G_{\text{АХП}} = G_{\text{ДХП}} \cdot M_{\text{ДАМ}} / M_{\text{ДХП}} = 235,7 \cdot 110 / 149 = 174 \text{ кг;}$$

хлористого аммония (по побочной реакции):

$$G_{\text{ХА}} = G_{\text{ДХП}} \cdot 2M_{\text{ХА}} / M_{\text{ДХП}} = 235,7 \cdot 107 / 149 = 169,3 \text{ кг.}$$

Итого получено хлористого аммония: 582,5 кг.

Без изменения остаются в реакционной массе:

суммарная массы воды:

$$G_{\text{воды.сумм}} = G_{\text{воды}} + G_{\text{влаги}} = 3\,327,4 + 369,7 = 3\,697,1 \text{ кг;}$$

примеси (внесенные с ДХП):  $G_{\text{прим}} = 92,4 \text{ кг.}$

Количество реакционной массы, полученной в результате реакции:

$$\begin{aligned} G_{\text{рм}} &= G_{\text{АХП}} + G_{\text{ХА}} + G_{\text{ДАМ}} + G_{\text{ам.ост}} + G_{\text{воды.сумм}} + G_{\text{прим}} = \\ &= 1\,000,1 + 582,5 + 174 + 14,8 + 3\,697,1 + 92,4 = 5\,560,9 \text{ кг.} \end{aligned}$$

Итого получено суммарно в узле 1:

$$G_{\text{получ}} = G_{\text{рм}} + G_{\text{ам.скруб}} = 5\,560,9 + 724,1 = 6\,285,0 \text{ кг.}$$

Итак:  $G_{\text{загруж}} = G_{\text{получ}}$

Результаты расчета по первому узлу сводятся в табл. 2.4.

## Реакция аминирования дихлорпиримидина (узел 1)

Загружено			Получено		
Сырье и полупродукты	%	Масса, кг	Продукты, отходы, потери	%	Масса, кг
1. ДХП техн., в т. ч.: ДХП влага примеси	75 20 5	1 848,5 1 386,4 369,7	1. Реакционная масса, в т. ч.: АХП ДАМ примеси	18 3,1 1,7	5 560,9 1 000,1 174
2. Аммиак водный, в т. ч.: аммиак вода	25 75	92,4 4 436,5 1 109,1 3 327,4	ХА аммиак остаток вода суммарно	10,5 0,3 66,4	92,4 582,5 14,8 3 697,1
			2. Аммиак на улавливание		724,1
<i>Итого</i>		6 285,0	<i>Итого</i>		6 285,0

## Узел 2. Фильтрация и промывка АХП.

Выход на стадии:  $\eta_2 = 98 \%$  (0,98).

Удельный расход воды на промывку АХП:  $g_{\text{воды.пр}} = 2,1 \text{ кг/кг}$  исходного ДХП.

Состав осадка после промывки (данные берутся из промышленного регламента производства): основного вещества ( $\gamma_{\text{АХПпаст}}$ ) — 0,70, воды в пасте ( $\gamma_{\text{воды.паст}}$ ) — 0,29, примесей ( $\gamma_{\text{прим.паст}}$ ) — 0,01.

## ЗАГРУЖЕНО (определение количеств загруженных веществ)

Реакционная масса из узла 1:  $G_{\text{1рм}} = 5 560,9 \text{ кг}$ .

Вода на промывку:

$$G_{\text{воды.пр}} = G_{\text{ДХП}} \cdot g_{\text{воды.пр}} = 1 386,4 \cdot 2,1 = 2 911,4 \text{ кг}.$$

Итого загружено:

$$G_{\text{2загруж}} = G_{\text{1рм}} + G_{\text{воды.пр}} = 5 560,9 + 2 911,4 = 8 472,3 \text{ кг}.$$

## ПОЛУЧЕНО (определение количеств полученных веществ):

АХП в пасте:  $G_{\text{АХПпаст}} = G_{\text{АХП}} \cdot \eta_2 = 1 000,1 \cdot 0,98 = 980,1 \text{ кг}$ .

АХП в фильтрате (потери):  $G_{\text{АХПф}} = G_{\text{АХП}} - G_{\text{АХПпаст}} = 20,0 \text{ кг}$ .

Всего получено пасты:

$$G_{\text{паст}} = G_{\text{АХПпаст}} / \gamma_{\text{АХПпаст}} = 980,1 / 0,7 = 1\,400,1 \text{ кг.}$$

Влаги в пасте:  $G_{\text{влаги.паст}} = G_{\text{паст}} \cdot \gamma_{\text{влаги.паст}} = 1\,400,1 \cdot 0,29 = 406 \text{ кг.}$

Примесей в пасте:

$$G_{\text{прим.паст}} = G_{\text{паст}} \cdot \gamma_{\text{прим.паст}} = 1\,400,1 \cdot 0,01 = 14 \text{ кг.}$$

Количество и состав фильтрата:

$$G_{\text{воды.ф}} = (G_{\text{воды.сумм}} - G_{\text{воды.паст}}) + G_{\text{воды.пр}} = (3\,697,1 - 406) + 2\,911,4 = 6\,022,5 \text{ кг.}$$

Растворенные компоненты фильтрата суммарно:

$$G_{\text{р.комп}} = (G_{\text{прим}} + G_{\text{ХА}} + G_{\text{ам.ост}} + G_{\text{ДАМ}} + G_{\text{АХПф}}) - G_{\text{прим}} = (91,2 + 582,5 + 14,8 + 161,2 + 20,0) - 14 = 855,7 \text{ кг.}$$

Масса фильтрата суммарно:

$$G_{\text{ф}} = G_{\text{воды.ф}} + G_{\text{р.комп}} = 6\,022,5 + 869,7 = 7\,072,2 \text{ кг.}$$

Итого получено в узле 2:

$$G_{\text{2получ}} = G_{\text{ф}} + G_{\text{паст}} = 7\,072,2 + 1\,400,1 = 8\,472,3 \text{ кг.}$$

Итак:  $G_{\text{2загруж}} = G_{\text{2получ}}$ . Результаты сводим в табл. 2.5.

Таблица 2.5

### Фильтрация и промывка АХП (узел 2)

Загружено (приход)			Получено (приход)		
Сырье и полупродукты	%	Масса, кг	Продукты, отходы, потери	%	Масса, кг
1. Реакционная масса, в т. ч.:			1. Паста АХП, в т. ч.:		1 400,1
АХП	18	5 560,9	АХП	70,0	980,1
ДАМ	3,1	1 000,1	вода	29	406
примеси	1,7	174	примеси, в т. ч.:	1,0	14
ХА	10,5	92,4	ДАМ		12,8
аммиак остаток	0,3	582,5	примеси		1,2
вода суммарно	66,4	14,8	2. Фильтрат, в т. ч.:		7 072,2
2. Вода для промывки пасты	100	3 697,1	вода		6 022,5
		2 911,4	АХП		20
			ДАМ		161,2
			примеси		91,2
			ХА		582,5
			аммиак		14,8
<i>Итого</i>		8 472,3	<i>Итого</i>		8 472,3



**Узел 3.** Сушка пасты АХП и получение готового продукта.

Выход на стадии:  $\eta_3 = 99 \%$  (0,99).

Состав АХП после сушки (товарный продукт):

основное вещество  $\gamma_{\text{АХПпрод}} = 0,97$ ;

остаточная влага  $\gamma_{\text{влаги.прод}} = 0,02$ ;

примеси  $\gamma_{\text{прим.прод}} = 0,01$ .

Расход горячего воздуха по практическим данным составляет:

$g_{\text{возд}} = 20$  кг/кг пасты.

**ЗАГРУЖЕНО** (определение количеств загруженных веществ)

Паста АХП из узла 2:  $G_{\text{паст}} = 1\,400,1$  кг.

Горячий воздух:  $G_{\text{возд}} = G_{\text{паст}} \cdot g_{\text{возд}} = 1\,400,1 \cdot 20 = 28\,002,0$  кг.

Итого загружено:

$G_{\text{загруж}} = G_{\text{паст}} + G_{\text{возд}} = 1\,400,1 + 28\,002,0 = 29\,402,1$  кг.

**ПОЛУЧЕНО**

Основного вещества в товарном продукте:

$G_{\text{АХПпрод}} = G_{\text{АХПпаст}} \cdot \eta_3 = 980,1 \cdot 0,99 = 970,0$  кг.

Механические потери АХП при сушке:

$G_{\text{АХПпот}} = G_{\text{АХПпаст}} - G_{\text{АХПпрод}} = 980,1 - 970 = 10,1$  кг.

Масса товарного продукта:

$G_{\text{тов.прод}} = G_{\text{АХПпрод}} / \gamma_{\text{АХПпрод}} = 970,0 / 0,97 = 1\,000,0$  кг.

Влаги в товарном продукте:

$G_{\text{влаги.прод}} = G_{\text{тов.прод}} \cdot g_{\text{влаги.прод}} = 1\,000,0 \cdot 0,02 = 20,0$  кг.

Примесей в товарном продукте:

$G_{\text{прим.прод}} = G_{\text{тов.прод}} \cdot \gamma_{\text{прим.прод}} = 1\,000,0 \cdot 0,01 = 10,0$  кг.

Летучие (воздух, влага, пылевидные компоненты), в т. ч.:

– удаляемая влага:

$G_{\text{влаги.лет}} = G_{\text{влаги.паст}} - G_{\text{влаги.прод}} = 406 - 20,0 = 386,0$  кг;

– пылевидные компоненты:

$G_{\text{пыл.комп}} = (G_{\text{прим.паст}} - G_{\text{прим.прод}}) + G_{\text{АХПпот}} = (14,0 - 10,0) + 10,1 = 14,1$  кг.

Всего летучих:

$$G_{\text{лет}} = G_{\text{возд}} + G_{\text{влаги.лет}} + G_{\text{пыл.компл}} = 28\,002,0 + 386,0 + 14,1 = 28\,402,1 \text{ кг.}$$

Итого получено в узле 3:

$$G_{\text{зполуч}} = G_{\text{тов.прод}} + G_{\text{лет}} = 1\,000,0 + 28\,402,1 = 29\,402,1 \text{ кг.}$$

$$\text{Итак: } G_{\text{загрузж}} = G_{\text{зполуч}}.$$

Результаты расчета вносим в табл. 2.6.

Таблица 2.6

### Материальный баланс сушки АХП

Загружено (приход)			Получено (приход)		
Сырье и полупродукты	%	Масса, кг	Продукты, отходы, потери	%	Масса, кг
1. Паста АХП, в т. ч.: АХП вода примеси, в т. ч.: ДАМ примеси	70,0 29 1,0 100	1 400,1 980,1 406 14 12,8 1,2	1. Товарный продукт, в т. ч.: АХП влага примеси 2. Влажный воздух, в т. ч.: воздух влага потери АХП пылевидные примеси	97,0 2,0 1,0	1 000,0 970,0 20,0 10,0 28 402,1 28 002,0 386 10,1 4,0
2. Воздух		28 002,0			
<i>Итого</i>		29 402,1	<i>Итого</i>		29 402,1

Расходные нормы сырья для производства АХП приведены в табл. 2.7.

Процесс аминирования ДХП хорошо изучен, примеси в исходном соединении идентифицированы и контролируются. Для простоты в расчете они приведены суммарно, так как не вступают в реакцию аминирования и не происходят побочные процессы. В ВКР с разработкой принципиальной аппаратурной схемы часто примеси не идентифицированы. В расчете приводятся данные — «примеси с неидентифицированной структурой».

Таблица 2.7

**Расходные нормы сырья для производства 1 т товарного АХП**

Наименование сырья и материалов	Содержание основного вещества, %	Расходная норма кг / 1 т	
		Масса техническая	Масса основного вещества
1. 4,6-Дихлорпиримидин	75	1 848,5	1 386,4
2. Водный раствор аммиака	25	4 436,5	1 109,1
3. Вода техническая (для промывки)	—	2 911,4	—
4. Воздух	—	28 002,0	—
Материальный индекс производства	МИ = 37 198,4 кг / 1 т (МИ <sub>без учета воздуха</sub> = 9 196,4 кг / 1 т)		

В приведенном примере при фильтрации продукт побочной реакции и внесенные примеси хорошо растворимы в воде и остаются в фильтрате. Обычно при отсутствии региоселективности продукты побочных реакций остаются в пасте и целевой продукт приходится очищать.

При проведении процесса непрерывным методом расчет материального баланса отличается от такового периодическим методом.

**Пример 2.** Материальный баланс производства фталевого ангидрида непрерывным методом.

Краткое описание процесса: фталевый ангидрид (ФА) в смеси с малеиновым ангидридом (МА) получают путем высокотемпературного парофазного каталитического окисления *о*-ксилола (ОК) кислородом воздуха (В). Часть ОК при этом сгорает до  $\text{CO}_2$  и  $\text{H}_2\text{O}$ .

1) Исходные данные.

Состав товарного ФА:

фталевого ангидрида — 99,0 %;

органических примесей — 1,0 %.

Масштаб расчета — часовой выпуск товарного ФА:

$G_{\text{час}} = 3\,500 \text{ кг/ч}$ , или чистого ФА:

$G_{\text{час}}^{\text{ФА}} = 3\,500 \cdot 0,99 = 3\,465 \text{ кг/ч}$ .

Стадии процесса и выходы ФА по стадиям:  
 окисление ОК —  $\eta_1 = 74,0 \%$ ;  
 конденсация ФА (получение ФА-сырца) —  $\eta_2 = 99,5 \%$ ;  
 дистилляция ФА-сырца (получение товарного ФА) —  $\eta_3 = 98,5 \%$ .

Общий выход:  $\eta_{\text{общ}} = 0,74 \cdot 0,995 \cdot 0,985 = 0,725$  (72,5 %).

Доля ОК, превращающегося в МА — 7,0 %;

доля ОК, сгорающего до  $\text{CO}_2$  и  $\text{H}_2\text{O}$  — 19,0 %;

массовое отношение воздух : ОК = 30 : 1 (кг/кг);

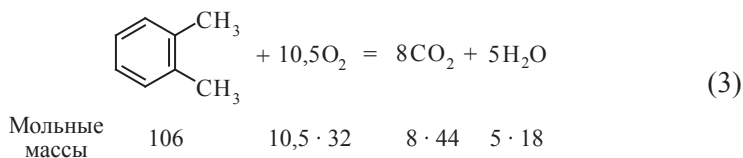
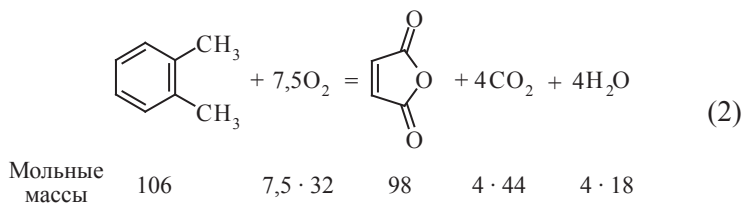
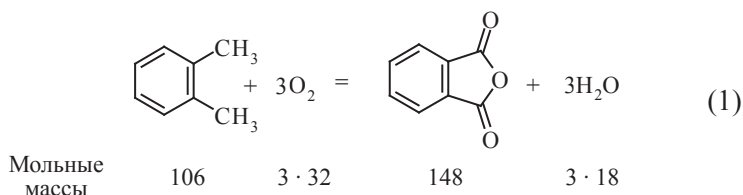
содержание ФА в ФА-сырце — 98,0 %.

2) Расчет материального баланса по стадиям производства.

**Узел 1. Стадия окисления ОК.**

Выход конечного продукта на стадии — 74 %.

Химизм процесса



Определение количества загруженных веществ:

часовой расход ОК:  $G_{\text{час}}^{\text{ОК}} = 3\,465 \cdot 106 / 148 \cdot 0,725 = 3\,423$  кг/ч;

часовой расход воздуха:  $G_{\text{час}}^{\text{возд}} = 3\,423 \cdot 30 = 102\,690$  кг/ч.

Определение количества полученных веществ:

часовое количество ФА:

$$G_{\text{час}}^{\text{ФА}} = 3\,423 \cdot 0,74 \cdot 148 / 106 = 3\,536,7 \text{ кг/ч};$$

часовое количество МА:

$$G_{\text{час}}^{\text{МА}} = 3\,423 \cdot 0,07 \cdot 98 / 106 = 221,5 \text{ кг/ч}.$$

В результате реакций 2 и 3 образуется  $\text{CO}_2$ :

$$G_{\text{час}}^{\text{CO}_2} = 3\,423 \cdot (4 \cdot 0,07 + 8 \cdot 0,19) \cdot 44 / 106 = 2\,557,5 \text{ кг/ч}.$$

В результате реакций 1–3 образуется  $\text{H}_2\text{O}$ :

$$G_{\text{час}}^{\text{H}_2\text{O}} = 3\,423 \cdot (3 \cdot 0,74 + 4 \cdot 0,07 + 5 \cdot 0,19) \cdot 18 / 106 = 2\,005,4 \text{ кг/ч}.$$

Часовой расход  $\text{O}_2$  по реакциям 1–3 составит:

$$G_{\text{час}}^{\text{O}_2} = 3\,423 \cdot (3 \cdot 0,74 + 7,5 \cdot 0,07 + 10,5 \cdot 0,19) \cdot 32 / 106 = 4\,898,1 \text{ кг/ч}.$$

Часовой остаток воздуха после реакции составит:

$$G_{\text{час}}^{\text{возд}} = 102\,690,0 - 4\,898,1 = 97\,791,9 \text{ кг/ч}.$$

Результаты расчетов по стадии окисления ОК сводятся в табл. 2.8.

Таблица 2.8

### Окисление ОК (узел 1)

Загружено (приход)			Получено (приход)		
Сырье и полупродукты	%	Масса, кг	Продукты, отходы, потери	%	Масса, кг
Ксилоло- воздушная смесь, в т. ч.: o-ксилол воздух	3,23 96,77	106 113,0 3 423,0 102 690,0	Катализат, в т. ч.: фталевый ангидрид малеиновый ангидрид $\text{CO}_2$ $\text{H}_2\text{O}$ отработанный воздух	3,33  0,21 2,40 1,90 92,16	106 113,0 3 536,7 221,5 2 557,5 2 005,4 97 791,9
<i>Итого</i>	100,0	106 113,0	Итого	100,0	106 113,0

## Узел 2. Конденсация ФА (получение ФА-сырца).

Выход по стадии — 99,5 %.

На стадию поступает катализата:  $G_{\text{час}} = 106\,113,0$  кг/ч, в т. ч.

ФА:  $G_{\text{час}} = 3\,536,7$  кг/ч.

Определение количества полученных веществ:

с учетом выхода по стадии будет получено чистого фталевого ангидрида:  $G_{\text{час}}^{\text{ФА}} = 3\,536,7 \cdot 0,995 = 3\,519$  кг/ч;

часовой выпуск ФА-сырца составит:

$G_{\text{час}}^{\text{сырца}} = 3\,536,7 / 0,98 = 3\,590,8$  кг/ч;

часовое количество абгазов (АГ) составит:

$G_{\text{час}}^{\text{АГ}} = 106\,113 - 3\,590,8 = 102\,522,2$  кг/ч.

Результаты расчетов вносим в табл. 2.9.

Таблица 2.9

Стадии конденсации ФА (узел 2)

Загружено (приход)			Получено (приход)		
Сырье и полупродукты	%	Масса, кг/ч	Продукты, отходы, потери	%	Масса, кг/ч
Катализат, в т. ч.:		106 113,0	1. Фталевый ангидрид-сырец, в т. ч.:		3 590,8
фталевый ангидрид	3,33		ФА	98,0	3 519,0
малеиновый ангидрид	0,21	3 536,7	примеси	2,0	71,8
СО <sub>2</sub>	2,40	221,5	2. Абгазы на улавливание		102 522,2
Н <sub>2</sub> О	1,90	2 557,5			
отработанный воздух	92,16	2 005,4			
		97 791,9			
Итого	100,0	106 113,0	Итого	100,0	106 113,0

Узел 3. Стадия дистилляции ФА-сырца (получение товарного ФА).

Выход по стадии — 98,5 %.

На стадию дистилляции поступает фталевого ангидрида-сырца:

$G_{\text{час}} = 3\,590,8$  кг/ч, в т. ч.:  $G_{\text{час}}^{\text{ФА}} = 3\,519$  кг/ч;  $G_{\text{час}}^{\text{прим}} = 71,8$  кг/ч.

Определение количества полученных веществ:

с учетом выхода по стадии будет получено 100 %-ного фталевого ангидрида:  $G_{\text{час}}^{\text{ФА}} = 3\,519 \cdot 0,985 = 3\,465,0$  кг/ч;

количество товарного ФА составит:

$$G_{\text{час}} = 3\,465 / 0,99 = 3\,500,0 \text{ кг/ч};$$

масса кубового остатка (КО) в час составит:

$$G_{\text{час}} = 3\,590,8 - 3\,500,0 = 90,8 \text{ кг/ч}.$$

Результаты расчетов сводим в табл. 2.10.

Таблица 2.10

### Дистилляция ФА-сырца (узел 3)

Загружено (приход)			Получено (приход)		
Сырье и полупродукты	%	Масса, кг/ч	Продукты, отходы, потери	%	Масса, кг/ч
Фталевый ангидрид-сырец, в т. ч.: ФА примеси	98,0 2,0	3 590,8 3 519,0 71,8	1. Фталевый ангидрид товарный, в т. ч.: ФА примеси 2. Кубовый остаток	99,0 1,0	3 500,0 3 465,0 35,0 90,8
<i>Итого</i>	100,0	3 590,8	<i>Итого</i>	100,0	3 590,8

Таким образом, для производства 1 000 кг товарного фталевого ангидрида потребуется (табл. 2.11):

$$o\text{-ксилола: } 3\,423 \cdot 1\,000 / 3\,500 = 978 \text{ кг};$$

$$\text{воздуха: } 102\,690 \cdot 1\,000 / 3\,500 = 29\,340 \text{ кг}.$$

Таблица 2.11

### Расходные нормы сырья для производства 1 т товарного фталевого ангидрида

Наименование сырья и материалов	Содержание основного вещества, %	Расходная норма кг / 1 т	
		Масса технического вещества	Масса основного вещества
1. <i>o</i> -Ксилол	—	978,0	978,0
2. Воздух	—	29 340,0	29 340,0
Материальный индекс производства		МИ = 30 318,0 кг / 1 т	

В данном примере наглядно проиллюстрировано, что на 1 т фталевого ангидрида расходуется огромное количество воздуха. При мощности производства 1 000 т в год (ОАО «Камтек») в атмосферу выбрасывается  $98 \cdot 10^6$  отработанного воздуха. Даже при содержании в 1 кг его 0,001 % твердых веществ (ниже ПДК!) загрязнение атмосферы составит 98 т. Поэтому необходимо предусмотреть тонкую очистку воздуха.

### Пример 3. Материальный баланс «Биосинтез тобрамицина».

На рис. 2.2 представлена схема-граф материальных потоков при биосинтезе тобрамицина.

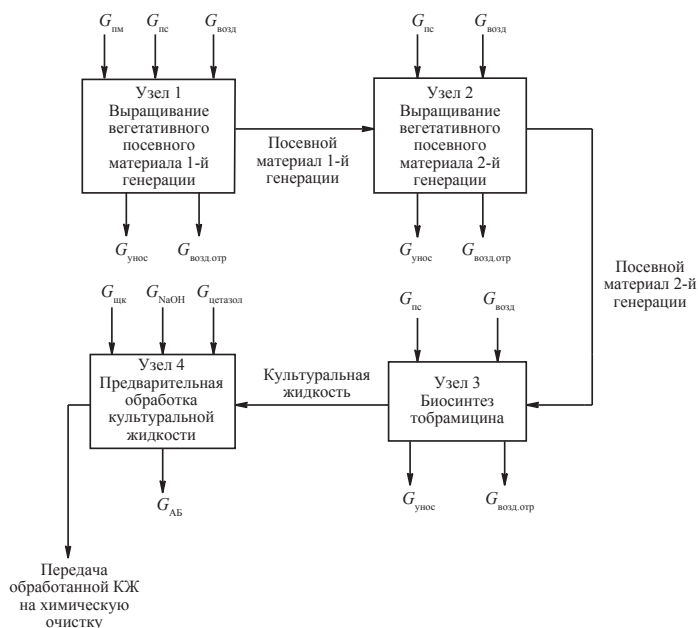


Рис. 2.2. Схема-граф биосинтеза тобрамицина:

$G_{\text{пм}}$  — количество загружаемого посевного материала (культура, выращенная в лаборатории);  $G_{\text{пс}}$  — количество загружаемой питательной среды;  
 $G_{\text{возд}}$  — количество подаваемого на ферментацию стерильного воздуха;  
 $G_{\text{уноса}}$  — количество влаги, уносимой вместе с отработанным воздухом;  
 $G_{\text{щк}}$  — количество загружаемой щавелевой кислоты;  $G_{\text{АБ}}$  — количество теряемого при обработке активного вещества



1) Исходные данные для расчета материального баланса.

Материальный баланс составлен на 1,0 кг тобрамицина сульфата. Активность 1 л культуральной жидкости после ферментации составляет не менее (по тобрамицину):  $\gamma = 750$  м. е.; в пересчете в систему единиц СИ —  $0,75 \text{ кг/м}^3$ . Так как плотность КЖ меняется в процессе ферментации и имеет различные значения для каждой серии, то можно принять среднее значение  $\rho_{\text{КЖ}} = 1\,020 \text{ кг/м}^3$ . В тобрамицине-сульфате содержится 65,6 % тобрамицина.

Рецептура загрузки компонентов питательной среды в инокулятор, посевной аппарат, ферментатор приведена в табл. 2.12. В рецептуре необходимо привести ссылку на промышленный регламент.

Таблица 2.12

**Рецептура загрузки компонентов питательной среды**

№ п/п	Наименование компонентов	Соотношение загружаемых компонентов, в % от общей массы		
		Инокулятор	Посевной аппарат	Ферментатор
1	Глюкоза	2,0	2,0	1,5
2	Мука соевая	2,0	2,0	3,5
3	Соль поваренная	0,3	0,3	—
4	Мел	0,3	0,3	0,3
5	Пропиол Б-400	0,1	0,2	0,2
6	Жир животный	—	—	0,8
7	Аммоний хлористый	—	—	0,6
8	Марганец сернокислый	—	—	0,025
9	Магний сернокислый	—	—	0,6
10	Вода стерилизованная	Находят расчетом по разнице		

Соотношения масс и объемов в инокуляторе — посевном аппарате — ферментаторе:  $G_{\text{и}} : G_{\text{п}} : G_{\text{ф}} = 1 : 30 : 150$  или  $V_{\text{и}} : V_{\text{п}} : V_{\text{ф}} = 1 : 30 : 150$ .

Выходы продукта по стадиям производства представлены в табл. 2.13.

Таблица 2.13

**Выходы продукта по стадиям производства**

№ п/п	Стадия	Выход, %
1	Ферментация	100,0
2	Предварительная обработка культуральной жидкости	99,9
3	Химочистка	23,0
Общий выход продукта ( $\eta_{\phi}$ )		22,7

2) Расчет материального баланса по узлам производства.

Для получения 1 кг тобрамицина объем культуральной жидкости в ферментаторе с учетом выхода составит:

$$V_{\phi} = 1 \cdot 0,656 / (\gamma \cdot 10^{-3} \cdot \eta_s) = 0,656 / (0,75 \cdot 0,227) = 3,84 \text{ м}^3,$$

где  $V_{\phi}$  — объем культуральной жидкости,  $\text{м}^3$ ;

1 — масштаб расчета, кг;

$\gamma$  — активность КЖ, м. е.;

$10^{-3}$  — коэффициент пересчета единиц активности (м. е.),  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;

$\eta_s$  — общий выход тобрамицина.

Соответственно объемы культуральной жидкости с учетом соотношения масс составят:

$$\text{в инокуляторе: } V_{\text{ин}} = V_{\phi} / 150 = 3,84 / 150 = 0,0256 \text{ м}^3;$$

$$\text{в посевном аппарате: } V_{\text{па}} = V_{\text{ин}} \cdot 30 = 0,0256 \cdot 30 = 0,768 \text{ м}^3.$$

Объемы питательной среды (без посевного материала) по аппаратам составят:

$$\text{в инокуляторе} \quad W_{\text{ин}} = V_{\text{ин}} = 0,0256 \text{ м}^3;$$

$$\text{в посевном аппарате} \quad W_{\text{па}} = V_{\text{па}} - V_{\text{ин}} = 0,768 - 0,0256 = 0,742 \text{ м}^3;$$

$$\text{в ферментаторе} \quad W_{\phi} = V_{\phi} - V_{\text{па}} = 3,84 - 0,768 = 3,072 \text{ м}^3.$$

**Узел 1.** Приготовление и стерилизация питательной среды в инокуляторе.

На данной стадии питательные вещества и вода загружаются в инокулятор и затем проводится их стерилизация острым паром ( $p = 3$  атм), температура стерилизации  $120\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

### ЗАГРУЖЕНО

Общая масса в инокуляторе:  $G_{\text{ин}} = W_{\text{ин}} \cdot r_{\text{КЖ}}$ ,

где  $r_{\text{КЖ}}$  — плотность питательной среды ( $r_{\text{КЖ}} = 1\,020\text{ кг/м}^3$ ).

$$G_{\text{ин}} = 0,0256 \cdot 1\,020 = 26,112\text{ кг.}$$

В связи с тем, что при стерилизации острым паром в питательной среде остается конденсат, его количество ( $G_{\text{ки}}$ ) необходимо учесть при расчете количества добавляемой стерильной воды. Всего воды:

$$G_{\text{ви}} = G_{\text{ин}} - (G_{\text{ки}} + G_{\text{пв}}),$$

где  $G_{\text{ви}}$  — масса воды в инокуляторе, кг;

$G_{\text{ки}}$  — масса конденсата в инокуляторе, кг;

$G_{\text{пв}}$  — масса компонентов питательной среды в посевном материале, кг.

Для расчета  $G_{\text{ки}}$  необходимо найти количество пара ( $G_1$ ), требуемое для нагрева всей массы питательной среды. Нагревать конденсат до температуры стерилизации не требуется, поэтому масса конденсата определяется как разность между расходом пара ( $G_1$ ) на нагрев всей массы раствора в инокуляторе и расходом пара ( $G_2$ ) на нагрев той части воды, которая образуется за счет конденсации пара, т. е.:  $G_{\text{ки}} = G_1 - G_2$ .

В свою очередь,  $G_1$  и  $G_2$  рассчитывают по следующим формулам [10, 11, 13]:

$$G_1 = [G_{\text{н}} \cdot c \cdot (t_1 - t_2)] / (i' - i''), \quad G_2 = [G_1 \cdot c \cdot (t_1 - t_2)] / (i' - i''),$$

где  $G_{\text{ин}} = 26,112\text{ кг}$ ;

$c = 4,19\text{ кДж/(кг} \cdot \text{K)}$ , поскольку основную массу ПС составляет вода [13];

$t_1$  — температура пара, применяемого для стерилизации,  
 $t_1 = 120\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;

$t_2$  — температура питательной среды, поступающей на стерилизацию,  $t_2 = 70\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;

$i'$  — теплосодержание пара (2 710 кДж/кг для трехатмосферного пара);

$i''$  — теплосодержание конденсата (502,4 кДж/кг при температуре стерилизации 120 °С) [11].

Подставляя численные значения переменных в формулы, получаем:

$$G_1 = [26,112 \cdot 4,19 \cdot (120 - 70)] / (2\,710 - 502,4) = 2,478\text{ кг};$$

$$G_2 = [2,478 \cdot 4,19 \cdot (120 - 70)] / (2\,710 - 502,4) = 0,235\text{ кг},$$

следовательно:

$$G_{\text{ки}} = 2,478 - 0,235 = 2,243\text{ кг}.$$

Величину  $G_{\text{пв}}$  рассчитываем исходя из рецептуры загрузки компонентов питательной среды в инокулятор. Масса каждого компонента и общая масса питательных веществ ( $G_{\text{пв}}$ ), загружаемых в инокулятор, приведены в табл. 2.14.

Таблица 2.14

**Состав и общая масса питательных веществ в инокуляторе**

Компоненты ПС	Содержа- ние, %*	Объем ПС* в инокуля- торе, л	$G_{\text{пв}}$ , кг
Глюкоза	2,0	25,6	0,51
Мука соевая	2,0		0,51
Мел химически осажденный	0,3		0,077
Соль поваренная	0,3		0,077
Пропиол Б-400	0,1		0,026
Итого масса питательных веществ ( $G_{\text{пв}}$ )			1,2

\* Расчет ведется в % к объему, принимая плотность среды равной 1 г/мл.

По уравнению находим количество стерильной воды для загрузки в инокулятор:  $G_{\text{ви}} = 26,112 - (2,243 + 1,203) = 22,666$  кг.

Суммарная загрузка в инокулятор составит:

$$G_{\Sigma} = G_{\text{пв}} + G_{\text{ки}} + G_{\text{ви}} = 1,203 + 2,243 + 22,666 = 26,112 \text{ кг.}$$

## ПОЛУЧЕНО

Стерильная питательная среда:  $G_{\text{псс}} = 26,112$  кг (без учета механических потерь), которая содержит 1,203 кг питательных веществ ( $G_{\text{пв}}$ ), а остальное является водой ( $G_{\text{впсс}}$ ), т. е.:

$$G_{\text{впсс}} = G_{\text{псс}} - G_{\text{пв}} = 26,112 - 1,203 = 24,909 \text{ кг.}$$

Сводим данные расчета в таблицу материального баланса процесса стерилизации питательной среды в инокуляторе (табл. 2.15).

Таблица 2.15

### Приготовление питательной среды в инокуляторе (узел 1)

Загружено			Получено		
Сырье и полупродукты	Содержание, %	Масса, кг	Продукты, отходы, потери	Содержание, %	Масса, кг
1. Питательные вещества	4,6	1,2	Питательная стерильная среда, в т. ч.: питательные вещества вода	4,6 95,4	26,1 1,2 24,9
2. Конденсат пара	8,6	2,2			
3. Вода	86,8	22,7			
<i>Итого</i>		26,1	<i>Итого</i>		26,1

### Узел 2. Процесс выращивания мицелия в инокуляторе.

После стерилизации и охлаждения питательной среды в инокулятор вносят культуру гриба и проводят процесс выращивания при температуре  $37 \pm 1$  °C и при постоянной подаче стерильного воздуха в течение 22–26 ч. Количество вносимой культуры составляет 0,1 % от объема питательной среды.

## ЗАГРУЖЕНО

Количество вносимой посевной культуры:

$$G_{\text{пми}} = V_{\text{ин}} \cdot 0,001 = 25,6 \cdot 0,001 = 0,0256 \text{ кг.}$$

Общая масса в инокуляторе перед аэрацией:

$$G_{\text{ин.нач}} = G_{\text{ин}} + G_{\text{пми}} = 26,112 + 0,0256 = 26,137 \text{ кг.}$$

Расход воздуха на выращивание мицелия в инокуляторе рассчитывают по формуле

$$G_{\text{возд.ин}} = (W_{\text{ин}} \cdot k_{\text{возд}} \cdot \tau \cdot 60) \cdot r_{\text{возд}},$$

где  $G_{\text{возд.ин}}$  — расход воздуха на период выращивания мицелия в инокуляторе, кг;

$W_{\text{ин}}$  — объем посевного материала в инокуляторе,  $W_{\text{ин}} = 0,0256 \text{ м}^3$ ;

$k_{\text{возд}}$  — объемный расход воздуха на единицу объема питательной среды в единицу времени,  $\text{м}^3 / (\text{м}^3 \cdot \text{мин})$ , принимаем  $k_{\text{возд}} = 0,5 \text{ м}^3 / (\text{м}^3 \cdot \text{мин})$ ;

$\tau$  — время ферментации, принимаем  $\tau = 26 \text{ ч}$ ;

60 — пересчет часов в минуты;

$r_{\text{возд}}$  — плотность воздуха при заданных условиях, принимаем  $r_{\text{возд}} = 1,29 \text{ кг/м}^3$  [13, 14].

Данные расхода воздуха для продуцента вносим в табл. 2.16 и рассчитываем объем воздуха за весь период культивирования.

Таблица 2.16

**Расход воздуха на культивирование в инокуляторе**

Время ферментации, ч	Расход воздуха $k_{\text{возд}} = V_{\text{возд}} / V_{\text{пс}}$ в минуту	Расход воздуха на весь объем п. с., $\text{м}^3/\text{мин}$	Расход воздуха на весь период культивирования, $\text{м}^3$	Масса воздуха, кг
26	0,50	0,013	20,00	25,8

Подставив числовые значения переменных в формулу, получаем

$$G_{\text{возд.ин}} = (0,0256 \cdot 0,5 \cdot 26 \cdot 60) \cdot 1,29 = 25,758 \text{ кг.}$$

Итого суммарная масса в инокуляторе составит:

$$G_{1\Sigma} = G_{\text{ин.нач}} + G_{\text{возд.ин}} = 26,137 + 25,758 = 51,900 \text{ кг.}$$

## ПОЛУЧЕНО

Для расчета материального баланса на стадии культивирования необходимо найти количество воды, уносимое с воздухом. Это количество зависит от температуры, давления и расхода воздуха и рассчитывается по формуле

$$G_{\text{ун}} = G_{\text{возд. ин}} \cdot (X_2 - X_1),$$

где  $X_1$  и  $X_2$  — влагосодержание поступающего и уходящего воздуха, их значения находим в справочниках по  $I$ - $X$ -диаграмме, принимаем температуры входящего воздуха 70 °С и уходящего — 3–5 °С. Для условий Среднего Урала:  $X_1 = 0,011$ ,  $X_2 = 0,043$  [14], зная влагосодержание ( $\phi$ ) поступающего ( $X_1$ ) и уходящего ( $X_2$ ) воздуха в заданных условиях (при температуре 35 °С степень насыщения воздуха 93 %, при температуре 70 °С — 77 %), находим по формуле количество влаги, уносимой с воздухом:  $G_{\text{ун}} = 25,758 (0,043 - 0,011) = 0,824$  кг.

Растворимость кислорода в питательной среде зависит от ее состава, pH, температуры и интенсивности перемешивания. Пусть в среднем в минуту поглощается 5 мг/л, или на весь объем посевного материала  $25,6 \text{ л} \cdot 0,000005 \text{ кг} = 0,00013 \text{ кг}$ , при времени аэрации 26 ч всего поглотится 0,203 кг кислорода.

В результате жизнедеятельности микроорганизмов растворенный в питательной среде кислород ими поглощается и выделяются углекислый газ и вода. Принимаем, что практически весь кислород идет на энергетические затраты микроорганизмов, а содержащийся в питательных веществах кислород — на синтез тобрамицина. При формальном сгорании углеводов, жиров и спиртов из одного углеродного фрагмента образуется 1 моль углекислого газа и 1 моль воды. Вода остается в культуральной жидкости, а углекислый газ уносится воздухом. При сгорании питательных веществ 2/3 (~0,67) поглощенного кислорода переходит в углекислый газ и 1/3 в воду. Таким образом, выделится углекислого газа с учетом мольных соотношений:

$$G_{\text{угл. газа}} = 0,67 \cdot [(0,203 \cdot 44) / 32] = 0,187 \text{ кг.}$$

Увеличение массы КЖ за счет выделения воды составит:  $0,203 - 0,187 = 0,016$  кг (в массу углекислого газа входит углерод из питательных веществ, т. е. масса питательных веществ уменьшилась за счет поглощенного кислорода). При жизнедеятельности микроорганизмов прирост массы мицелия в основном происходит за счет питательных веществ. Прирост очень мал по сравнению с общей массой КЖ, поэтому его в материальном балансе не учитываем. Масса КЖ после процесса выращивания равна:

$$G_{\text{КЖ}} = G_{\text{ин.нач}} - G_{\text{ун}} = 26,137 - 0,824 = 25,313 \text{ кг.}$$

Масса отработанного воздуха:

$$G_{\text{отр.возд}} = G_{\text{возд.ин}} + G_{\text{ун}} = 25,758 + 0,824 = 26,582 \text{ кг.}$$

Результаты расчетов сводим в табл. 2.17.

Таблица 2.17

### Выращивание мицелия в инокуляторе (узел 2)

Загружено			Получено		
Сырье и полу-продукты	Содержание, %	Масса, кг	Продукты, отходы, потери	Содержание, %	Масса, кг
1. Питательная стерильная среда и посевной материал, в т. ч.: посевной материал	100,0	26,1	1. Культуральная жидкость	100,0	25,3
2. Стерильный воздух		0,0256	2. Отработанный воздух, в т. ч.: воздух		26,6
		25,8	влага		25,7
<i>Итого</i>		51,9	<i>Итого</i>		51,9

**Узел 3.** Приготовление и стерилизация питательной среды в посевном аппарате.

Материальный баланс для посевного аппарата и ферментатора составляется аналогично материальному балансу инокулятора с использованием уже полученных данных и соотношений.



## ЗАГРУЖЕНО

При расчете материального баланса необходимо учесть добавление воды, уносимой с воздухом, до заданного конечного объема раствора после ферментации. Масса питательной среды, загружаемой в посевной аппарат, составляет разницу между общей массой жидкости в посевном аппарате и массой КЖ, поступающей из инокулятора, или

$$G_{\text{па}} = 0,768 \cdot 1020 - 25,313 = 783,36 - 25,313 = 758,047 \text{ кг.}$$

Количество конденсата, образующегося в процессе стерилизации питательной среды, находим:

$$G_{\text{кп}} = G_{\text{па}} \cdot (G_{\text{ки}} / G_{\text{и}}) = 758,047 \cdot (2,243 / 26,112) = 65,115 \text{ кг.}$$

Расчет ингредиентов и общей массы питательных веществ, загружаемых в посевной аппарат (табл. 2.18), ведется на расчетный объем питательной среды в посевном аппарате, так как унесенная при выращивании мицелия вода компенсируется.

Таблица 2.18

### Состав и общая масса питательных веществ в посевном аппарате

Компоненты ПС	Содержа- ние, %*	Объем ПС* в посев- ном аппарате, л	$G_{\text{пв}}$ , кг
Глюкоза	2,0	742,0	14,8
Мука соевая	2,0		14,9
Мел химически осажденный	0,3		2,2
Соль поваренная	0,3		2,2
Пропиол Б-400	0,2		1,5
<i>Итого:</i> питательных веществ ( $G'_{\text{пв}}$ )			35,6

\* Расчет ведется в % к объему, принимая плотность среды равной 1 г/мл.

Количество стерильной воды для загрузки в посевной аппарат:

$$G_{\text{свп}} = G_{\text{па}} - (G'_{\text{пв}} + G_{\text{кп}} + G_{\text{ин}}) = 758,047 - (35,616 + 65,115 + 25,313) = 632,003 \text{ кг.}$$

## ПОЛУЧЕНО

Масса питательной стерильной среды:

$$G_{\text{псс}} = G'_{\text{пв}} + G_{\text{свп}} + G_{\text{кп}} = 35,616 + 632,003 + 65,115 = 732,734 \text{ кг.}$$

Данные расчета сводим в табл. 2.19.

Таблица 2.19

### Приготовление питательной среды и ее стерилизация в посевном аппарате (узел 3)

Загружено			Получено		
Сырье и полупродукты	Содержа- ние, %	Масса, кг	Продукты, отхо- ды, потери	Содержа- ние, %	Масса, кг
1. Питательные вещества	4,9	35,6	Питательная стерильная среда, в т. ч.: питательные вещества вода		732,7
2. Вода (конденсат пара)	8,9	65,1			
3. Стерильная вода	86,2	632		4,9 95,1	35,6 697,1
<i>Итого</i>		732,7	<i>Итого</i>		732,7

**Узел 4.** Процесс выращивания мицелия в посевном аппарате.

## ЗАГРУЖЕНО

Питательная стерильная среда с предыдущей стадии:

$$G_{\text{псс}} = 732,734 \text{ кг.}$$

Посевной материал из инокулятора:  $G_{\text{пми}} = 25,313 \text{ кг.}$

Стерильный воздух на аэрацию: из исходных данных в 5 раз больше, чем в инокуляторе [ссылка на регламент].

$$G_{\text{возд.па}} = 5 \cdot G_{\text{возд.ин}} = 5 \cdot 25,758 = 128,80 \text{ кг.}$$

## ПОЛУЧЕНО

Масса воды (влаги) в отработанном воздухе:

$$G_{\text{ун.па}} = 5 \cdot G_{\text{ун}} = 5 \cdot 0,824 = 4,12 \text{ кг.}$$

Масса отработанного воздуха:

$$G'_{\text{отр.возд}} = G_{\text{возд.па}} + G_{\text{ун.па}} = 128,80 + 4,12 = 132,920 \text{ кг.}$$

Масса КЖ составит:

$$G_{\text{пкж}} = G_{\text{псс}} + G_{\text{пми}} - G_{\text{ун.па}} = 732,734 + 25,313 - 4,12 = 753,930 \text{ кг.}$$

Результаты расчетов сводим в табл. 2.20.

Таблица 2.20

**Выращивание мицелия в посевном аппарате (узел 4)**

Загружено			Получено		
Сырье и полупродукты	Содержание, %	Масса, кг	Продукты, отходы, потери	Содержание, %	Масса, кг
1. Питательная стерильная среда	—	732,7	1. Культуральная жидкость	—	753,9
2. Посевной материал из инокулятора	—	25,3	2. Отработанный воздух, в т. ч.:	—	132,9
3. Стерильный воздух	—	128,8	воздух	—	128,8
			влага	—	4,1
<i>Итого</i>		886,8	<i>Итого</i>		886,8

**Узел 5.** Приготовление и стерилизация питательной среды в ферментаторе.

При расчете материального баланса ферментатора необходимо учесть добавление воды, уносимой с воздухом, до заданного конечного объема раствора после ферментации, на который проведен весь расчет.

В остальном расчет ведем аналогично предыдущим стадиям.

**ЗАГРУЖЕНО**

Общая масса раствора в ферментаторе:

$$G_{\text{ф}} = 3,84 \cdot 1\,020 = 3\,916,80 \text{ кг.}$$

Масса питательной среды в ферментаторе составляет разницу между массой жидкости в нем и массой КЖ из посевного аппарата:

$$G_{\text{псф}} = 3\,916,80 - 753,93 = 3\,162,87 \text{ кг.}$$

Расчет ингредиентов и общей массы питательных веществ (табл. 2.21), загружаемых в ферментатор, ведется на заданный объем питательной среды:

$$W_{\text{ф}} = 3\,070,0 \text{ л.}$$

Таблица 2.21

**Состав и общая масса питательных веществ в ферментаторе**

Компоненты ПС	Содержание, % (объемные)	Объем ПС в ферментаторе, л	$G_{\text{пв}}$ , кг
Глюкоза	1,5	3 070,0	46
Мука соевая	3,5		108
Мел химически осажденный	0,3		9,2
Аммоний хлористый	0,6		18,7
Магний сернокислый	0,6		18,4
Марганец сернокислый	0,025		0,8
Жир животный	0,80		24,6
Пеногаситель	0,15		4,6
<i>Итого:</i> масса питательных веществ ( $G_{\text{пв}}$ )			229,5

Общая масса питательных веществ в ферментаторе:

$$G_{пвф} = 229,5 \text{ кг.}$$

Масса конденсата, образующегося при стерилизации:

$$G_{кф} = G_{псф} \cdot (G_{кин} / G_{ин}) = 3\,162,87 \cdot (2,243 / 26,112) = 271,688 \text{ кг.}$$

Количество стерильной воды для загрузки в ферментатор:

$$G_{свф} = G_{ф} - (G_{пвф} + G_{кф} + G_{ПКЖ}) + G_{доб}$$

где  $G_{доб}$  — количество воды, необходимое для компенсации уноса паров воды с воздухом в процессе ферментации, кг.

Воздух на аэрацию (время аэрации — 120 ч):

$$G_{возд.ф} = (W_{и} \cdot k_{возд} \cdot \tau \cdot 60) \cdot \tau_{возд}.$$

Расход воздуха до 24 ч —  $3 \text{ м}^3/\text{м}^3 \cdot \text{мин}$ , от 24 до 120 ч —  $5 \text{ м}^3 / \text{м}^3 \cdot \text{мин}$ , тогда:

$$G'_{возд.ф} = 3,84 \cdot 3 \cdot 24 \cdot 60 \cdot 1,29 = 21\,399,552 \text{ кг,}$$

$$G''_{возд.ф} = 3,84 \cdot 5 \cdot (120 - 24) \cdot 60 \cdot 1,29 = 142\,663,68 \text{ кг,}$$

$$G_{возд.ф} = G'_{возд.ф} + G''_{возд.ф} = 21\,399,552 + 142\,663,68 = 164\,063,232 \text{ кг.}$$

Влага, унесенная с воздухом:

$$G_{ун.ф} = 164\,063,232 \cdot (0,043 - 0,011) = 5\,250,023 \text{ кг.}$$

Таким образом,  $G_{\text{доб}} = G_{\text{ун.ф}} = 5\,250,023$  кг.

Итак, по уравнению находим:

$$G_{\text{свф}} = 3\,916,80 - (229,50 + 271,688 + 753,930) + 5\,250,023 = 7\,911,705 \text{ кг.}$$

## ПОЛУЧЕНО

Масса стерилизованной питательной среды:

$$G_{\text{псф}\Sigma} = G_{\text{псф}} + G_{\text{ун.ф}} = 3\,162,87 + 5\,250,023 = 8\,412,90 \text{ кг,}$$

в том числе масса питательных веществ:  $G_{\text{пвф}} = 229,50$  кг,

$$\text{количество воды: } G_{\text{вф}} = G_{\text{псф}} - G_{\text{пвф}} = 8\,412,90 - 229,50 = 8\,183,40 \text{ кг.}$$

Общая масса питательных веществ в ферментаторе:

$$G_{\text{пвф}} = 229,50 \text{ кг.}$$

Масса конденсата, образующегося при стерилизации:

$$G_{\text{кф}} = G_{\text{псф}} \cdot (G_{\text{кин}} / G_{\text{ин}}) = 3\,162,87 \cdot (2,243 / 26,112) = 271,688 \text{ кг.}$$

Количество стерильной воды для загрузки в ферментатор:

$$G_{\text{свф}} = G_{\text{ф}} - (G_{\text{пвф}} + G_{\text{кф}} + G_{\text{ПКЖ}}) + G_{\text{доб}},$$

где  $G_{\text{доб}}$  — количество воды, необходимое для компенсации уноса паров воды с воздухом в процессе ферментации, кг.

Воздух на аэрацию (время аэрации — 120 ч):

$$G_{\text{возд.ф}} = (W_{\text{и}} \cdot k_{\text{возд}} \cdot \tau \cdot 60) \cdot \tau_{\text{возд.}}$$

Расход воздуха до 24 ч —  $3 \text{ м}^3/(\text{м}^3 \cdot \text{мин})$ , от 24 до 120 ч —  $5 \text{ м}^3/(\text{м}^3 \cdot \text{мин})$ , тогда:  $G'_{\text{возд.ф}} = 3,84 \cdot 3 \cdot 24 \cdot 60 \cdot 1,29 = 21\,399,552$  кг,

$$G''_{\text{возд.ф}} = 3,84 \cdot 5 \cdot (120 - 24) \cdot 60 \cdot 1,29 = 142\,663,68 \text{ кг,}$$

$$G_{\text{возд.ф}} = G'_{\text{возд.ф}} + G''_{\text{возд.ф}} = 21\,399,552 + 142\,663,68 = 164\,063,232 \text{ кг.}$$

Влага, унесенная с воздухом:

$$G_{\text{ун.ф}} = 164\,063,232 \cdot (0,043 - 0,011) = 5\,250,023 \text{ кг.}$$

Таким образом,  $G_{\text{доб}} = G_{\text{ун.ф}} = 5\,250,023$  кг.

Итак, по уравнению находим:

$$G_{\text{свф}} = 3\,916,80 - (229,50 + 271,688 + 753,930) + 5\,250,023 = 7\,911,705 \text{ кг.}$$

Масса стерилизованной питательной среды:

$$G_{\text{псф}\Sigma} = G_{\text{псф}} + G_{\text{ун.ф}} = 3\,162,87 + 5\,250,023 = 8\,412,90 \text{ кг},$$

в том числе масса питательных веществ:  $G_{\text{пвф}} = 229,50 \text{ кг}$ ,  
количество воды:

$$G_{\text{вф}} = G_{\text{псф}} - G_{\text{пвф}} = 8\,412,90 - 229,50 = 8\,183,40 \text{ кг}.$$

Данные расчета сводим в табл. 2.22.

Таблица 2.22

**Приготовление питательной среды  
и ее стерилизация в ферментаторе (узел 5)**

Загружено			Получено		
Сырье и полу-продукты	Содержа-ние, %	Масса, кг	Продукты, отходы, потери	Содержа-ние, %	Масса, кг
1. Питательные вещества	3,2	229,5	Питательная стерильная среда, в т. ч.: питательные вещества вода		84 12,9
2. Вода	3,3	271,7			
3. Вода стерильная	93,5	7 911,7		3,2 96,8	229,6 8 183,4
<i>Итого</i>		8 412,9	<i>Итого</i>		8 412,9

**Узел 6.** Процесс выращивания мицелия в ферментаторе.

**ЗАГРУЖЕНО**

Питательная стерильная среда:  $G_{\text{псф}} = 8\,412,90 \text{ кг}$ , посевной материал из посевного аппарата:

$$G_{\text{пм}} = 753,930 \text{ кг, воздух на аэрацию: } G_{\text{возд.ф}} = 164\,063,232 \text{ кг}.$$

Всего загружено:

$$G_{\text{ф}\Sigma} = G_{\text{псф}} + G_{\text{пм}} + G_{\text{возд.ф}} = 8\,412,90 + 753,930 + 164\,063,232 = 173\,230,062 \text{ кг}.$$

**ПОЛУЧЕНО**

Культуральная жидкость (активность  $\gamma = 750 \text{ м. е., } 0,75 \text{ кг/м}^3$ ):

$$G_{\text{ф}} = 3\,916,80 \text{ кг}.$$

Количество тобрамицина в культуральной жидкости:

$$G_{\text{тобр.ф}} = 0,656 / \eta = 0,656 / 0,227 = 2,9 \text{ кг},$$

где  $\eta$  — выход на стадии — 22,7 %.

Влага, унесенная с воздухом:

$$G_{\text{ун.ф}} = 5\,250,023 \text{ кг}.$$

Отработанный воздух:

$$G_{\text{отр.ф}} = G_{\text{возд.ф}} + G_{\text{ун.ф}} = 164\,063,2 + 5\,250,1 = 169\,313,3 \text{ кг}.$$

Результаты расчетов сводим в табл. 2.23.

Таблица 2.23

### Выращивание мицелия в ферментаторе (узел 6)

Загружено			Получено		
Сырье и полупродукты	Содержание, %	Масса, кг	Продукты, отходы, потери	Содержание, %	Масса, кг
1. Питательная стерильная среда	—	8 412,9	1. Культуральная жидкость, в т. ч.: тобрамицин	—	3 916,8 (3 840 л) 2,9
2. Посевной материал		753,9	2. Отработанный воздух, в т. ч.: воздух		169 313,1 164 063,2
3. Стерильный воздух		164 063,2	влага		5 250
<i>Итого</i>		173 230	<i>Итого</i>		173230

**Узел 7. Кислотная коагуляция тобрамицина.**

Выход на стадии: 99,9 %.

### ЗАГРУЖЕНО

Культуральная жидкость со стадии ферментации:  $G_{\text{ф}} = 3\,916,8 \text{ кг}.$

Содержание основного вещества в техническом продукте: щавелевой кислоты — 99,9 %.

Используется 12,3 %-ный раствор щавелевой кислоты:

$$g_{\text{щ}} = 12,0 \%, G_{\text{щ.р}} = V_{\text{ф}} \cdot g_{\text{щ}} \cdot \rho_{\text{щк}} = 3\,916,80 \cdot 0,12 \cdot 1\,042 = 489,75 \text{ кг},$$

$$\rho_{\text{щк}} = 1\,042 \text{ кг/м}^3.$$

Растворено 100 %-ной щавелевой кислоты:

$$G_{\text{щ}} (100 \%) = G_{\text{щ,р}} \cdot 0,123 = 489,75 \cdot 0,123 = 60,24 \text{ кг.}$$

Воды в 12,3 %-ном растворе щавелевой кислоты:

$$G_{\text{вод.щ}} = G_{\text{щ,р}} - G_{\text{щ,техн}} = 489,75 - 60,24 = 429,51 \text{ кг.}$$

Необходимо загрузить в технической массе:

$$G_{\text{щ,техн}} = 60,24 / 0,999 = 60,30 \text{ кг.}$$

Суммарная загрузка:

$$G_{\text{КЖ1}} = 3\,916,80 + 489,75 = 4\,406,55 \text{ кг.}$$

## ПОЛУЧЕНО

Масса КЖ после кислотной коагуляции:  $G_{\text{КЖ1}} = G_{\text{КЖ2}} = 4\,406,55 \text{ кг.}$

Тобрамицина в КЖ после коагуляции:

$$G_{\text{тобр.к}} = G_{\text{тобр.ф}} \cdot \eta = 2,9 \cdot 0,999 = 2,897 \text{ кг.}$$

Потери тобрамицина за счет инактивации:

$G_{\text{тобр.п}} = G_{\text{тобр.ф}} - G_{\text{тобр.к}} = 2,9 - 2,897 = 0,003 \text{ кг}$  (этим значением можно пренебречь).

Результаты расчетов вводим в табл. 2.24.

Таблица 2.24

### Кислотная коагуляция тобрамицина (узел 7)

Загружено			Получено		
Сырье и полупродукты	Содержание, %	Масса, кг	Продукты, отходы, потери	Содержание, %	Масса, кг
1. Культуральная жидкость ( $\gamma = 750 \text{ м. е.}$ ), в т. ч.: тобрамицин	100,0	3 916,8 2,9	1. Культуральная жидкость ( $\gamma = 750 \text{ м. е.}$ ), в т. ч.: тобрамицин	— —	4 406,55 2,9
2. Щавелевая кислота, в т. ч.: щавелевая кислота вода	12,3 87,7	489,75 60,24 429,51	2. Потери тобрамицина за счет кислотной коагуляции	—	0,003
<i>Итого</i>		4 406,55	<i>Итого</i>		4 406,55



В примерах 1 и 2 на последней стадии получают единицу продукции 1 кг или 1 т. При расчете материального баланса получено 2,9 кг тобрамицина. В данном случае приведена лишь часть расчета, после коагуляции раствор поступает на фильтрацию от мицелля. Полученный нативный раствор передают на участок химической очистки, где отделят тобрамицин от сопутствующего антибиотика апромицина и далее выделяют сам тобрамицин в виде сульфата. Расчеты данных семи узлов (стадий) принципиально ничем не отличаются от приведенных ранее примеров. Поэтому в пособии они не приводятся, но в конечном итоге в таблице последнего узла получают 1 кг конечного продукта — сульфата тобрамицина.

Таким образом, расчет материального баланса по всем узлам технологического процесса, где в итоге получают единицу конечного продукта, позволяет осуществить расчет технологического оборудования на заданную мощность производства и привести описание технологического процесса в расчете на суточную производительность.

Заключительным этапом данного раздела является определение материального индекса производства (табл. 2.25).

Таблица 2.25

**Расходная норма сырья на производство 1 кг тобрамицина**

Наименование сырья и материалов	Содержание основного вещества, %	Расходная норма, кг/кг	
		Масса техническая	Масса основного вещества
1. Глюкоза	—		61,402
2. Мука соевая		—	122,802
3. Соль поваренная		—	2,303
4. Мел		—	11,513
5. Жир животный		—	24,560
6. Соли, в т. ч.:			37,610
аммиак хлористый			18,42
марганец сернокислый	12,3		0,77
магний сернокислый			18,42
7. Пеногаситель			6,110
8. Щавелевая кислота	12,3	489,750	60,240
9. Вода питьевая (стерильная)	100	8 566,370	8 566,370

Стерильного воздуха (по всем стадиям технологического процесса) расходуется 164 217,80 кг/кг.

Материальный индекс производства МИ = 8 892,91 кг/кг.

**Пример 4.** Расчет материального баланса производства пива.

1) Объект расчета и исходные данные для расчета.

Пиво — продукт, получающийся в процессе сбраживания пивного сусла дрожжами. Его приготовление затрагивает следующие узлы изменения материальных потоков:

- Приготовление затора.
- Фильтрация затора.
- Варка сусла с хмелем.
- Отстаивание и охлаждение охмеленного сусла.
- Сбраживание пивного сусла и получение молодого пива.
- Дображивание пива и насыщение его  $\text{CO}_2$ .
- Осветление пива.

Рецептура для приготовления пива «Излучинское» согласно ТУ 9184-204-05031531–96.

Материальный баланс (МБ) расчета — на 1 дал (10 л) готового нефильтрованного пива состава:

- экстрактивность начального сусла 13 % ( $\gamma_{\text{экстр}} = 0,13$ );
- содержание алкоголя, объемная доля не менее 4,7 % об. ( $\gamma_{\text{алк}} = 0,047$  об.);
- углекислоты, массовая доля не менее 0,33 % ( $\gamma_{\text{CO}_2} = 0,0033$ );
- содержание углеводов, массовая доля не более 5,3 % ( $\gamma_{\text{углев}} = 0,053$ ).

2) Схема-граф материального баланса (рис. 2.3).

Используется сухих продуктов при изготовлении пива «Излучинское» на одну загрузку:

солода пивоваренного ячменного светлого — 2,5 кг на 1 дал пива;

хмель молотый гранулированный (1,2 г/дал горячего сусла).

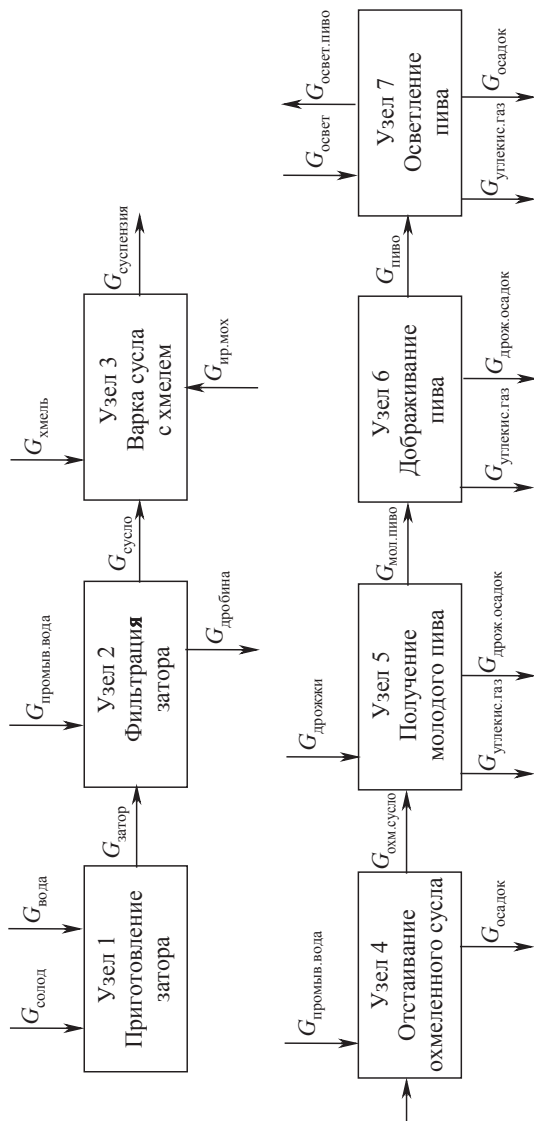


Рис. 2.3. Схема-граф материального баланса производства пива

Выходы по стадиям (узлам):

Узел 1. Гидролиз крахмала —  $\eta_{\text{гидр}} = 82,4 \% (0,824)$ .

Узел 2. Фильтрование —  $\eta_{\text{ф}} = 96,0 \% (0,960)$ .

Узел 3. Варка —  $\eta_{\text{вар}} = 100,0 \% (1,00)$ .

Узел 4. Отстаивание —  $\eta_{\text{отст}} = 98,0 \% (0,980)$ .

Узел 5. Брожение —  $\eta_{\text{брож}} = 98,0 \% (0,980)$ .

Узел 6. Дображивание —  $\eta_{\text{добр}} = 98,0 \% (0,980)$ .

Узел 7. Осветление —  $\eta_{\text{освет}} = 98,0 \% (0,980)$ .

$$\Sigma\eta = \eta_{\text{гидр}} \cdot \eta_{\text{ф}} \cdot \eta_{\text{вар}} \cdot \eta_{\text{отст}} \cdot \eta_{\text{брож}} \cdot \eta_{\text{добр}} \cdot \eta_{\text{освет}} = \\ = 0,824 \cdot 0,96 \cdot 1,0 \cdot 0,98 \cdot 0,98 \cdot 0,98 \cdot 0,98 = 0,73.$$

Составы полупродуктов, нормативы механических потерь и прочие исходные данные приводятся в расчетах соответствующих узлов МБ. В качестве примера приводится расчет первого узла.

### 3) Расчет МБ по узлам (стадиям производства).

#### Узел 1. Приготовление затора.

В этом узле осуществляется следующая реакция:



$$\text{Мольные массы} \quad 162,16n \quad + \quad 18,02n \quad = \quad n180,18$$

\* Условно будем считать, что весь экстрагированный крахмал гидролизуются исключительно до глюкозы. В дальнейшем расчет ведется на образовавшуюся в реакции глюкозу.

### ЗАГРУЖЕНО

Солод (100 %) известного состава:  $G_{\text{сол}} = 2,5$  кг, в т. ч.:

влаги (4,4 %),  $G_{\text{влаги}} = 2,5 \cdot 0,044 = 0,11$  кг;

крахмала (70,5 %),  $G_{\text{крах}} = 0,705 \cdot 2,5 = 1,7625$  кг;

белка (11,5 %),  $G_{\text{бел}} = 0,115 \cdot 2,5 = 0,2875$  кг;

клетчатки (5,6 %),  $G_{\text{клетч}} = 0,056 \cdot 2,5 = 0,14$  кг;

жира (2 %),  $G_{\text{жира}} = 0,02 \cdot 2,5 = 0,05$  кг;

зола (2 %),  $G_{\text{зола}} = 0,02 \cdot 2,5 = 0,05$  кг;

примесей (4 %),  $G_{\text{прим}} = 0,04 \cdot 2,5 = 0,1$  кг.

Расчет остальных видов сырья ведут по удельным загрузкам.

Загружено воды:  $G_{\text{воды}} = G_{\text{сол}} \cdot g_{\text{затора}} = 2,5 \cdot 4 = 10 \text{ кг.}$

Итого в узле 1 загружено:

$$\Sigma G_{\text{загруж}} = G_{\text{сол}} + G_{\text{воды}} = 2,5 + 10,0 = 12,5 \text{ кг.}$$

## ПОЛУЧЕНО

Экстрактивность солода 82,4 %, следовательно, в раствор перейдет следующее количество сухих веществ:

$$\text{белка: } G_{\text{бел}} = G_{\text{бел.сол}} \cdot \eta_{\text{гидр}} = 0,2875 \cdot 0,824 = 0,2369 \text{ кг;}$$

$$\text{зола: } G_{\text{зола}} = G_{\text{зол.сол}} \cdot \eta_{\text{гидр}} = 0,05 \cdot 0,824 = 0,0412 \text{ кг.}$$

Вступило в реакцию крахмала с учетом экстрактивности:

$$G_{\text{крах.реак}} = G_{\text{крах.сол}} \cdot \eta_{\text{гидр}} = 1,7625 \cdot 0,824 = 1,4523 \text{ кг.}$$

По реакции получилось глюкозы:

$$G_{\text{глюк.реак}} = G_{\text{крах.реак}} \cdot M_{\text{глюк}} / M_{\text{крах}} = 1,4523 \cdot 180,18 / 162,16 = 1,61369 \text{ кг.}$$

Тогда сухих веществ в растворе затора:

$$G_{\text{сух}} = G_{\text{бел}} + G_{\text{зола}} + G_{\text{глюк}} = 0,2369 + 0,0412 + 1,61369 = 1,89179 \text{ кг.}$$

Осталось в дробине:

$$\text{крахмала: } G_{\text{крах.ост}} = G_{\text{крах}} - G_{\text{крах.реак}} = 1,7625 - 1,4523 = 0,3102 \text{ кг;}$$

$$\text{белка: } G_{\text{бел}} = G_{\text{бел.сол}} - G_{\text{бел}} = 0,2875 - 0,2369 = 0,0506 \text{ кг;}$$

$$\text{зола: } G_{\text{зола}} = G_{\text{зол.сол}} - G_{\text{зола}} = 0,05 - 0,0412 = 0,0088 \text{ кг.}$$

Осталось без изменения:

$$\text{клетчатка: } G_{\text{клетч}} = 0,14 \text{ кг;}$$

$$\text{жир: } G_{\text{жира}} = 0,05 \text{ кг;}$$

$$\text{примеси: } G_{\text{прим}} = 0,1 \text{ кг.}$$

Тогда масса дробины:

$$G_{\text{дроб}} = G_{\text{крах}} + G_{\text{бел}} + G_{\text{зола}} + G_{\text{клетч}} + G_{\text{жира}} + G_{\text{прим}} = 0,3102 + 0,0506 + 0,0088 + 0,14 + 0,05 + 0,1 = 0,6596 \text{ кг.}$$

Прореагировало воды (по уравнению реакции гидролиза):

$$G_{\text{воды.реак}} = G_{\text{крах.реак}} \cdot M_{\text{воды}} / M_{\text{крах}} = 1,4523 \cdot 18,02 / 162,16 = 0,16139 \text{ кг.}$$

Всего осталось воды в заторе:

$$G_{\text{воды}} = G_{\text{воды.загруж}} + G_{\text{влаги.сол}} - G_{\text{воды.реак}} = 10,0 + 0,11 - 0,16139 = 9,94861 \text{ кг.}$$

Итого в узле 1 получено:

$$\Sigma G_{\text{затора}} = G_{\text{воды}} + G_{\text{дроб}} + G_{\text{сух}} = 1,89179 + 0,6596 + 9,94861 = 12,5 \text{ кг.}$$

Результаты расчета сводим в табл. 2.26.

Таблица 2.26

### Приготовление затора (узел 1)

Загружено				Получено			
Сырье и полупродукты	Содержание, % (масс.)	Масса техническая, кг	Масса 100 %, кг	Продукты, отходы, потери	Содержание, % (масс.)	Масса техническая, кг	Масса 100 %, кг
1. Солод, в т. ч.:	100,0	2,50	1,80	1. Суспензия затора, в т. ч.:		11,84	
крахмал	70,50		0,5	1.1. Сухого вещества, в т. ч.:			
белок	11,50		0,88	белок	100,0	1,89	0,23
клетчатка	5,60		0,14	зола	2,00		0,04
жир	2,00		0,05	глюкоза	0,35		1,61
зола	2,00		0,05	вода	13,63		
примеси	4,00		0,10	1.2. Дробина, в т. ч.:	84,02	9,95	
влага	4,40	10,0	0,11	крахмал	100,0	0,66	0,31
2. Вода				белок	47,03		0,05
				зола	7,67		0,01
				клетчатка	1,33		0,14
				жир	21,22		0,05
				примеси	7,58		0,10
				15,17			
<i>Итого</i>		12,50		<i>Итого</i>		12,50	

Как видно из табл. 2.26, округление ведется до второй значащей цифры. Это обусловлено тем, что производительность линии составляет 100 дал в сутки и при технологическом расчете, и при

описании технологического процесса загрузки составляют килограммы и литры, а не г или мл.

Приводить расчет в данном пособии по узлам 2–7 нецелесообразно, так как ничего принципиально нового, по сравнению с ранее приведенными примерами, эти расчеты не имеют.

## 2.3. Примеры технологических расчетов

### Пример расчета установки непрерывного действия (УНС).

**Стерилизация в УНС.** На участке приготовления питательной среды работает типовая УНС производительностью по питательной среде  $g_{\text{пс}} = 6$  кг/с. Температура стерилизации  $t_{\text{ст}} = 130$  °С, температура поступающей в нагревательную колонку питательной среды (п. с.)  $t_1 = 50$  °С, время пребывания п. с. в выдерживателе —  $\tau_{\text{ст}} = 15$  мин. На одну операцию ферментации в УНС необходимо простерилизовать  $V_{\text{пс}} = 65$  м<sup>3</sup> исходной питательной среды ( $\rho_{\text{пс}} = 1\,020$  кг/м<sup>3</sup>).

Необходимо определить продолжительность работы УНС для обеспечения одной операции ферментации и рассчитать длину трубчатки выдерживателя, приняв диаметр трубы  $D_{\text{тр}} = 200$  мм.

Поскольку стерилизация в УНС осуществляется острым паром, необходимо найти количество пара, необходимое для стерилизации заданного количества питательной среды (п. с.):

$$G_{\text{пара}} = \frac{G_{\text{пс}} \cdot c_{\text{пс}} \cdot (t_{\text{ст}} - t_1)}{r_{\text{пара}}} = \frac{(V_{\text{пс}} \cdot \rho_{\text{пс}}) \cdot c_{\text{пс}} \cdot (t_{\text{ст}} - t_1)}{r_{\text{пара}}} =$$

$$= \frac{(65 \cdot 1\,020) \cdot 4,19 \cdot (130 - 50)}{2\,117} = 10\,497,8 \text{ кг.}$$

Суммарное количество п. с., поступающей в выдерживатель:

$$G_{\text{пс}}^{\Sigma} = G_{\text{пс}} + G_{\text{пара}} = (65 \cdot 1\,020) + 10\,497,8 = 76\,797,8 \text{ кг.}$$

Время работы УНС для обеспечения одной операции ферментации:

$$\tau_{\text{УНС}} = \frac{G_{\text{пс}}^{\Sigma}}{g_{\text{пс}}} = \frac{76\,797,8}{6} \cong 12\,800 \text{ с или } 12\,800 / 3\,600 = 3,5 \text{ ч.}$$

Скорость потока в трубчатке:

$$W = \frac{g_{\text{пс}}}{\rho_{\text{пс}} \cdot S_{\text{тр}}} = \frac{g_{\text{пс}} \cdot 4}{\rho_{\text{пс}} \cdot D_{\text{тр}}^2 \cdot 3,14} = \frac{6 \cdot 4}{1020 \cdot 0,2^2 \cdot 3,14} = 0,19 \text{ м/с}.$$

Расчетная длина трубчатки:

$$L = W \cdot \tau_{\text{ст}} = 0,19 \cdot (15 \cdot 60) = 171 \text{ м}.$$

Если принять длину отрезков трубы — 6 м, выдерживатель будет состоять примерно из 30 витков или пакета труб  $5 \times 6$ .



### **3. БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ: ПРАВИЛА СОСТАВЛЕНИЯ**

При написании литературного обзора ВКР бакалавра любое заимствование чужого материала (дословное или перефразированное) необходимо сопровождать ссылкой на первоисточник. При ее отсутствии система контроля заимствований (СКЗ) автоматически отнесет данный фрагмент работы к неправомерному заимствованию (плагиат). Если по всей работе СКЗ покажет более 30 % неправомерных заимствований, то работа аннулируется, назначается новая тема, которая может быть защищена через год. Не подлежат СКЗ разделы — «Материальный баланс», «Безопасность жизнедеятельности».

Библиографическая ссылка является частью справочного аппарата документа и служит источником библиографической информации о документах — объектах ссылки. Библиографическая ссылка содержит сведения о цитируемом, рассматриваемом или упоминаемом в тексте документа в другом документе (его составной части или группе документов), необходимые и достаточные для его идентификации, поиска и общей характеристики. Общие правила оформления приведены в [22].

Список должен содержать сведения об источниках, использованных при написании ВКР бакалавра или магистерской диссертации. В него необходимо включать источники, на которые были сделаны ссылки в тексте работы. Если в ВКР или диссертации используются нормативные акты и иные источники стандартов, их необходимо располагать на отдельном листе после раздела «Содержание» перед разделом «Введение» в следующей последовательности:

- нормативные правовые акты — Конституция РФ;
- международные договоры РФ, согласие на обязательность которых было выражено в форме федерального закона;
- федеральные конституционные законы;

- федеральные законы;
- законы иностранных государств;
- межгосударственные договоры РФ, согласие на обязательность которых было выражено не в форме федерального закона;
- нормативные правовые акты Президента РФ;
- межправительственные договоры РФ, согласие на обязательность которых было выражено не в форме федерального закона;
- нормативные правовые акты Правительства РФ;
- межведомственные договоры РФ, согласие на обязательность которых было выражено не в форме федерального закона;
- нормативные правовые акты федеральных министерств и ведомств;
- конституции (уставы), законы, иные нормативные правовые акты органов государственной власти субъектов РФ;
- нормативные правовые акты органов местного самоуправления;
- иные официальные материалы (резолюции — рекомендации международных организаций и конференций, официальные доклады, официальные статистические отчеты и др.).

Перечень ссылочных стандартов начинают со слов: «В настоящей работе использованы ссылки на следующие стандарты». Как правило, в ВКР бакалавра и диссертации магистра данные акты не приводятся. Но в других официальных документах эти материалы необходимо приводить.

*Список использованной литературы (библиографический список)* оформляется по ГОСТ 7.0.5–2008 [22]. По месту расположения в документе различают библиографические ссылки:

- внутритекстовые, помещенные в текст документа;
- подстрочные, вынесенные из текста вниз полосы документа (в сноску);
- затекстовые, вынесенные за текст документа или его части (в выноску).

В ВКР используются в основном затекстовые ссылки. При нумерации затекстовых библиографических ссылок используется сплошная нумерация для всего текста ВКР в целом.

Для связи с текстом ВКР порядковый номер библиографической записи в затекстовой ссылке указывают в знаке выноски, который набирают на верхнюю линию шрифта, или в отсылке, которую приводят в квадратных скобках в строку с текстом документа.

В тексте: «Общий список справочников по терминологии, охватывающий время не позднее середины XX в., дает работа библиографа И. М. Кауфмана».

Затекстовая библиографическая ссылка может содержать следующие элементы:

- заголовок (Ф. И. О. всех авторов);
- основное заглавие документа (полное название статьи, книги);
- сведения об ответственности (например: Краткий справочник физико-химических величин / под ред. А. А. Равделя. Л. : Химия, 1983. 232 с.);
- сведения об издании (название журнала или город: название издательства);
- выходные данные (год, том, номер);
- сведения о местоположении объекта ссылки в документе (если ссылка на часть документа);
- сведения о документе, в котором опубликован объект ссылки (если цитируется не по первоисточнику, а по другому документу, то в начале ссылки приводят слова: «Цит. по:» (цитируется по), «Приводится по:», с указанием источника заимствования).

Независимо от назначения ссылки правила представления элементов библиографического описания, применение знаков предписанной пунктуации в ссылке осуществляются в соответствии с ГОСТ 7.1 и ГОСТ 7.82 с учетом следующих особенностей:

- допускается предписанный знак точку и тире, разделяющий области библиографического описания, заменять точкой;

- допускается не использовать квадратные скобки для сведений, заимствованных не из предписанного источника информации;
- сокращение отдельных слов и словосочетаний применяют для всех элементов библиографической записи, за исключением основного заглавия документа. Слова и словосочетания сокращают по ГОСТ 7.11 и ГОСТ 7.12. Можно приводить сокращение названий научных журналов. В качестве примера можно привести следующие:

Журнал общей химии — ЖОХ; Журнал органической химии — ЖОрХ; Химия гетероциклических соединений — ХГС; Известия АН. Серия химическая — Известия АН. Сер. хим.; Химико-фармацевтический журн. — Хим.-фарм. журн. (ХФЖ); Journal of the Chemical Society — J. Chem. Soc., после 1975 г. — J. Chem. Soc., Perkin Trans. I или (II); Journal of the American Chemical Society — J. Am. Chem. Soc.; The Journal of Organic Chemistry — J. Org.; Chem.; Journal of Heterocyclic Chemistry — J. Heterocycl. Chem.; с 1868 по 1944 г. Berichte der Deutschen Chemischen Gesellschaft — Ber., с 1947 г. по настоящее время — Chem. Ber.; Justus Liebigs Annalen der Chemie — Liebigs Ann. (либо Ann.) и т. д.;

- в области физической характеристики указывают либо общий объем документа, либо сведения о местоположении объекта ссылки в документе:

2. Альберт Ю. В. Библиографическая ссылка : справочник. Киев, 1983. 247 с.

или

<sup>2</sup> Альберт Ю. В. Библиографическая ссылка : справочник. Киев, 1983. С. 21.

Библиографическая ссылка приводится на языке оригинала. Допускается для иероглифического написания первоисточника приводить англоязычную транскрипцию.

Разделители между разделами — точка-тире либо точка, разделитель между названием статьи (составной части) и названием журнала (сборника) — две косые черты. При оформлении

допускается отдельные разделы выделять гарнитурой шрифтов, при этом косые черты можно опускать.

Ф. И. О., Ф. И. О. **Название статьи** // **Название журнала**. — Год. — Том, №. — Страницы.

Ф. И. О., Ф. И. О. **Название статьи**. *Название журнала*. Год. Том, №. Страницы.

Ф. И. О., Ф. И. О. **Название книги**. Город : Издательство, Год. Количество страниц.

Допускается привлечение материалов и данных, полученных с официальных сайтов интернета. В этом случае необходимо указать точный источник материалов и дату обращения к источнику. Ссылки на электронные ресурсы составляют по правилам библиографических ссылок статей:

Ф. И. О. автора (необязательный раздел). Название электронного ресурса (страницы) // адрес сайта (URL страницы) (дата обращения).

Источниковедческая база магистерской диссертации должна охватывать не менее 60 источников.

**Примеры библиографических ссылок.** Приведенные в данном разделе номера ссылок взяты из конкретных статей, монографий и диссертаций и не относятся к данному учебному пособию, служат лишь в качестве иллюстрации. В ВКР бакалавра и магистратекстовые ссылки идут строго по порядку.

#### *Книги, сборники в целом*

1. Comprehensive Supramolecular Chemistry. Eds.; Atwood J. L.; Davies J. E. D.; MacNicol D. D.; Vögtle F. Elsevier: Exter, 1996. 239 p.
2. *Мулдер М.* Введение в мембранную технологию. М. : Мир, 1999. 513 с.
3. Медицинская химия / под ред. В. В. Липсон. Харьков : Фолио, 2005. 461 с.
4. *Негодяев Н. Д., Нейн Ю. И.* Современные методы переработки синтетических полимерных материалов : учеб. пособие для студентов химико-технологических специальностей. Екатеринбург : УрФУ, 2011. 82 с.

5. Достижения в органическом синтезе : сб. науч. тр. / Ин-т органического синтеза УрО РАН ; под ред. О. Н. Чупахина. Екатеринбург : УрО РАН, 2007. 118 с.
6. Райхард К. Растворители и эффекты среды в органической химии. М. : Мир, 1991. 584 с.

### Статьи в научных журналах

7. Безматерных М. А., Мокрушин В. С., Поспелова Т. А. Синтез 1,4-дигидроимидазо[5,1-с]-1,2,4-триазин-4-онов и имидазо[5,1-с]-1,2,4-триазолов. *ХГС*. 2009. № 11. С. 1544–1553.
8. Русинов В. Л., Уломский Е. Н., Чупахин О. Н., Чарушин В. Н. Азоло[5,1-с]-1,2,4-триазины как новый класс противовирусных соединений // Известия АН. Сер. хим. — 2008. — № 5. — С. 967–994.
9. Fan Z.-J., Liu B., Liu X.-F., Zhong B., Liu C.-L., Li Z.-M. Synthesis and bioactivity of pyridine containing 1,3,4-oxadiazole derivatives // *Chemical Journal of Chinese Universities*. 2004. Vol. 25. P. 663–668.
10. Fan Z.-J., Liu B., Liu X.-F., Zhong B., Liu C.-L., Li Z.-M. Synthesis and bioactivity of pyridine containing 1,3,4-oxadiazole derivatives. *Chemical Journal of Chinese Universities*. 2004. Vol. 25. P. 663.
11. Колобов М. Ю., Бакулев В. А., Мокрушин В. С. Синтез и направление циклизации производных 2-диазомалондиамида. Новая перегруппировка 5-гидроксид-1,2,3-триазол-4-карбоксамидов. *ХГС*. 1992. № 9. С. 1208–1213.
12. Зарубин И. В., Маскаева Л. Н., Марков В. Ф., Замараева Н. В. Применение тонких пленок сульфида свинца, допированных галогенами, для контроля содержания ионов свинца в водных средах // *Вода: химия и экология*. 2012. № 6. С. 80–85.

### Электронные ресурсы

13. IUPAC Nomenclature of Organic Chemistry [Электронный ресурс] / Advanced Chemistry Development, Inc. Recommendations 1993. URL: <http://www.acdlabs.com/iupac/nomenclature/> (дата обращения: 19.09.2007).
14. Дорохова Е. Элиситоры: победа без жертв. URL: <http://www.rozovodnik.ru/articles/phlox/1043/> (дата обращения: 23.08.2007).
15. Долгов В. Forbes: Почему российский профессор должен параллельно заниматься бизнесом // *Нанометр: нанотехнологическое*

общество : [сайт]. [2006]. URL: [http://www.nanometer.ru/2012/10/17/nauka\\_298027.html](http://www.nanometer.ru/2012/10/17/nauka_298027.html) (дата обращения: 22.10.2012).

### *Патенты*

16. А. с. 981317 (СССР). Способ получения 4-метилмеркапто-имидазо[4,5-*d*] [1, 2, 3]триазина / В. С. Мокрушин, В. А. Бакулев, Л. Ю. Кошечева, З. В. Пушкарева. Оpubл. в Бюлл. изобр. — 1982. — № 46. — С. 55.
17. Пат. 1074091 РФ. 4-[3-нитро-4-(3,3-диметилтриазено-1)фенил]имидазол, обладающий противоопухолевой активностью / М. А. Ирадян, Н. С. Ирадян, Г. М. Степанян, Ф. Г. Арсенян, Б. Т. Гарибджанян. Оpubл. Бюлл. изобр. — 1995. — № 6. — С. 23.
18. Пат. WO 8800197 США. Preparation of benzo(thio)pyranoselenodiazoles and -thiadiazoles as pesticides / R. Bognar, C. Jaszberenyi, S. Makleit, A. Fodor, P. Deak, T. Timar; Alkaloida Vegyeszeti Gyar, Hung. PCT Int. Appl. 1988. 100 pp. Prior.: 26.06.86 (цит. по: СА 109:73451).
19. Пат. EP 690061 Европа. Preparation of thiadiazolopyridines as agrochemical microbicides / T. Maetzke; Ciba-Geigy AG, Switz. Eur. Pat. Appl. 1996. 38 pp. Prior.: 30.06.94.
20. Пат. 1373347 (Великобр.). Triazenoimidazoles / J. Heyes, N. Ward. — Цит. по: РЖХ. — 1975. — 21084П.

### *Авторефераты и диссертации*

21. Токарева М. И. Новые методы синтеза и модификации индолов на основе ароматических изоцианидов : автореф. дис. ... канд. хим. наук. Екатеринбург : УГТУ-УПИ, 2002. 28 с.
22. Матери А. И. Реакции азинов и их дигидропроизводных. Роль электронного переноса в процессах формирования и разрыва связей : дис. ... д-ра хим. наук. Екатеринбург, 2007. 221 с.

### *ГОСТы*

23. ГОСТ Р 51364–99. Аппараты воздушного охлаждения. Общие технические условия. М. : Стандартинформ, 2001. 67 с.
24. ГОСТ Р 52522–2006. Спирт этиловый из пищевого сырья, водки и изделия ликероводочные. Методы органолептического анализа. М. : Стандартинформ, 2006. 16 с.

*Краткая запись (допустима)*

25. ГОСТ 7925–75. Красители органические. Методы сравнительного окрашивания натуральных волокон.
26. ГОСТ 12.1.007–76 — Система стандартов безопасности труда. Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности.



## 4. ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ ГРАФИЧЕСКИХ ДОКУМЕНТОВ

К графическим документам ВКР относятся:

- сборочные чертежи аппаратов, установок, их детализовка;
- аппаратурные схемы производства;
- таблицы, графики, диаграммы, схемы химических реакций и другие демонстрационные (стендовые) материалы, необходимые для защиты выпускной работы бакалавра или магистерской диссертации.

Все графические документы могут быть представлены только с использованием средств компьютерной графики и пакетов прикладных программ. В любом случае для размещения демонстрационных чертежей и материалов используются листы белой бумаги формата А1.

Сборочные чертежи и чертежи деталей (узлов) аппаратов и установок выполняют в соответствии с ЕСКД [23] в объеме требований, представленных в курсе «Инженерная графика».

Аппаратурные схемы оформляют, руководствуясь методическими указаниями [9]. Пример изображения аппаратурной схемы приведен в Приложении 15. Если эти схемы дополняются изображениями КИПиА, то они оформляются в соответствии с ЕСКД [23] или ЕСТД [24].

Для технологической ВКР бакалавра необходимо выполнить чертеж основного аппарата на формате А1 и чертеж аппаратурной схемы (1–2 листа формата А1).

Для научно-исследовательской работы ВКР бакалавра выполняется только чертеж принципиальной аппаратурной схемы (1–2 листа формата А1).

Прочий демонстрационный материал оформляется в произвольной форме с соблюдением общепринятых требований —

наглядность, четкость, аккуратность. При этом рекомендуется приводить на каждом листе его порядковый номер, наименование материала и краткие надписи, облегчающие восприятие демонстрируемых данных.

Возможно представление части графического материала в виде компьютерных презентаций на большом экране с использованием мультимедийного оборудования.

## 5. ПУБЛИЧНАЯ ЗАЩИТА ВКР

Квалификация «бакалавр» присваивается по результатам защиты выпускной работы на заседании Государственной экзаменационной комиссии (ГЭК) и дает право на поступление бакалавра в магистратуру. Результаты защиты являются основанием для принятия комиссией решения по присвоению квалификации и выдачи диплома государственного образца. Председателем ГЭК утверждается профессор, доктор наук, специализирующийся в данной области науки, как правило, сотрудник РАН либо высококвалифицированный работник промышленного предприятия. Не менее половины членов ГЭК являются сотрудниками сторонних организаций, и большинство членов имеют ученую степень доктора (кандидата) наук.

Для доклада по результатам ВКР бакалавра отводится время не более 8 мин.

*Доклад* начинают с краткого обзора литературных данных, из которых следует формулировка актуальности и цели работы. При изложении материала научно-исследовательских работ достаточно указать на слайд со спектральными характеристиками или рентгеноструктурным анализом (РСА), сказав, что структура соединений доказана с помощью ядерно-магнитного резонанса (ЯМР) и т. д. При вопросе членов ГЭК следует подробно проанализировать спектральные характеристики. В докладе материала работы технологического характера при описании процессов не следует указывать конкретные цифры температуры или давления. Это остается также для ответа на вопросы. Доклад заканчивают заключением.

*Демонстрационный материал.* Доклад по научно-исследовательской работе следует делать в виде презентации. Чертеж аппаратурной схемы должен быть на бумаге формата А1. Доклад по работе технологического характера обязательно сопровождается чертежами аппаратурной схемы, основного аппарата и сводкой экономических показателей на формате А1. Возможны и приветствуются слайды презентации.

## СПИСОК БИБЛИОГРАФИЧЕСКИХ ССЫЛОК

1. Федеральный закон «Об образовании в Российской Федерации» от 29.12.2012 г., № 273-ФЗ (действующая редакция 2016 г.).
2. Порядок проведения итоговой государственной аттестации по образовательным программам бакалавриата, специалитета и программам магистратуры. Екатеринбург : УрФУ, 2015. 26 с.
3. Общероссийский классификатор продукции : [интернет-сайт]. URL: <http://www.rospromtest.ru/kody-okp> (дата обращения: 15.11.2016).
4. Щегольков Е. В., Садчикова Е. В., Бургарт Я. В., Салоутин В. И. Синтез и строение 4-гидрокси-4-фторалкил-1,4-дигидроимидазо[5,1-с]триазинов // ЖОрХ. 2009. Т. 45, № 4. С. 586–594.
5. Садчикова Е. В., Мокрушин В. С. Синтез и свойства 5-диазоимидазолов и солей имидазолил-5-диазония // Известия АН. Сер. хим. 2003. № 7. С. 1516–1521.
6. Мокрушин В. С. Основы химии и технологии биоорганических и синтетических лекарственных веществ. СПб. : Проспект Науки, 2009. 496 с.
7. Перевалов В. П. Основы проектирования и оборудование производств тонкого органического синтеза. М. : Химия, 1997. 288 с.
8. Вавилов Г. А., Негодяев Н. Д., Блохин В. Е., Грязев В. Ф. Технохимические расчеты в технологическом проектировании : метод. указания к курсовому и дипломному проектированию. Екатеринбург : УГТУ, 1998. 28 с.
9. Вавилов Г. А., Мокрушин В. С., Безматерных М. А. Проектирование технологических схем производства биологически активных веществ и лекарственных препаратов : метод. разработка по курсовому и дипломному проектированию. Екатеринбург : ГОУ ВПО УГТУ–УПИ, 2004. 32 с.
10. Бесков С. Д. Технохимические расчеты. М. : Высш. школа, 1966. 520 с.
11. Альперт Л. З. Основы проектирования химических установок. М. : Высш. школа, 1989. 304 с.

12. Краткий справочник физико-химических величин / под ред. А. А. Равделя. Л. : Химия, 1983. 232 с.
13. Павлов К. Ф., Романков П. Г., Носков А. А. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии. Л. : Химия, 1987. 576 с.
14. Вавилов Г. А., Мокрушин В. С., Сакович Г. С. Материальные, технологические и тепловые расчеты биотехнологических производств : метод. указания по курсовому и дипломному проектированию. Екатеринбург : УГТУ, 2000. 32 с.
15. Калунянц К. А., Голгер Л. И., Балашов В. Е. Оборудование микробиологических производств. М. : Агропромиздат, 1987. 400 с.
16. Батунер Л. М. Процессы и аппараты органического синтеза и биохимической технологии. М. : Химия, 1976. 519 с.
17. Тимонин А. С. Основы конструирования и расчета химико-технологического и природоохранного оборудования : справочник. Калуга : Изд-во Н. Бочкаревой, 2002. Т. 1. 852 с.
18. Тимонин А. С. Основы конструирования и расчета химико-технологического и природоохранного оборудования : справочник. Калуга : Изд-во Н. Бочкаревой, 2002. Т. 2. 1028 с.
19. Тимонин А. С. Основы конструирования и расчета химико-технологического и природоохранного оборудования : справочник. Калуга : Изд-во Н. Бочкаревой, 2002. Т. 3. 968 с.
20. Федоренко Б. Н. Пивоваренная инженерия: технологическое оборудование отрасли. СПб. : Профессия, 2009. 1000 с.
21. СНиП 2.04.03–85. Канализация. Наружные сети и сооружения.
22. ГОСТ 7.0.5 –2008. Библиографическая ссылка. Общие требования и правила составления.
23. ГОСТ 2.001–93. Единая система конструкторской документации. Общие положения.
24. ГОСТ 3.1001–81. Единая система технологической документации. Общие положения.

# ПРИЛОЖЕНИЯ

## Приложение 1

### **Образец титульного листа выпускной квалификационной работы бакалавра**

Министерство образования и науки РФ  
ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет  
имени первого Президента России Б. Н. Ельцина»  
Химико-технологический институт  
Кафедра технологии органического синтеза

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ  
Зав. кафедрой \_\_\_\_\_ В. А. Бакулев  
«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 201\_\_ г.

### **ПРОИЗВОДСТВО ФТАЛЕВОГО АНГИДРИДА ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА БАКАЛАВРА**

**Пояснительная записка**  
18.03.01 24 4812 020 ПЗ

Руководитель, доц., канд. хим. наук	В. С. Берсенева
Консультант, доц., канд. экон. наук	Н. Я. Высоцкая
Консультант, доц., канд. тех. наук	В. Р. Романов
Нормоконтролер, доц., канд. хим. наук	М. А. Миронов
Студент гр. Х-430803	А. С. Ермолаев

Екатеринбург  
201\_\_год

**Шаблон задания на выпускную  
квалификационную работу бакалавра**

Министерство образования и науки РФ  
ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет  
имени первого Президента России Б. Н. Ельцина»

Институт Химико-технологический \_\_\_\_\_  
Кафедра Технологии органического синтеза \_\_\_\_\_  
Направление 19.03.01 — Биотехнология \_\_\_\_\_

УТВЕРЖДАЮ:

Зав. кафедрой \_\_\_\_\_ (Бакулев В. А. )  
(подпись)

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 201 \_\_ г.

**ЗАДАНИЕ**

на выполнение выпускной квалификационной работы  
студента \_\_\_\_\_ группы Х- \_\_\_\_\_  
(фамилия, имя, отчество)

1. Тема ВКР Производство шампанского непрерывным способом

\_\_\_\_\_

Утверждена распоряжением по институту от “ \_\_\_\_ ” 201 \_\_ г. № \_\_\_\_

2. Руководитель Сакович Г. С. , доц., доц., канд. хим. наук  
(Ф. И. О., должность, ученое звание, ученая степень)

3. Исходные данные по работе Регламент производства шампанского на ЕВШК, работы, проводимые на комбинате по совершенствованию непрерывной технологии производства шампанского, специальная литература. Руководство по выполнению ВКР, экономическому обоснованию инженерного решения. Справочная литература по расчетам.

4. Содержание расчетно-пояснительной записки (перечень подлежащих разработке вопросов) Аналитический обзор литературы по способам производства шампанского. Выбор способа, изменения, внесенные в технологическую схему и конструкцию аппаратов. Описание выбранной технологии. Материальный баланс, технологический расчет. Безопасность производства, экология, экономические расчеты.

5. Перечень демонстрационных материалов \_\_\_\_\_

1) Аппаратурная схема производства \_\_\_\_\_

2) Чертеж дрожжегенератора \_\_\_\_\_

6. Консультанты по разделам ВКР

Раздел	Консультант	Подпись, дата	
		здание выдал	здание принял
БЖД	доц., канд. хим. наук Сидорова Л. П.		
Экономическое обоснование	доц., канд. экон. наук Бояринов А. Ю.		

7. Календарный план (пример)

№ п/п	Наименование этапов дипломного проекта (работы)	Срок выполнения этапов проекта (работы)	Отметка о выполнении
1	Аналитический обзор		
2	Материальный баланс		
3	Технологические расчеты		
4	Описание технологического процесса		
5	Безопасность жизнедеятельности		
6	Экономическое обоснование		
7	Графика, оформление записки		

Руководитель \_\_\_\_\_ Сакович Г. С.  
(подпись) Ф. И. О.

Задание принял к исполнению \_\_\_\_\_  
(подпись)



8. Дипломный проект (работа) закончен “\_\_\_” 201\_\_ г.

Пояснительная записка и все материалы просмотрены.

Оценка консультантов: 1. \_\_\_\_\_  
2. \_\_\_\_\_

Считаю возможным допустить Галкина Игоря Владимировича  
к защите его дипломного проекта (работы) в экзаменационной  
комиссии.

Руководитель \_\_\_\_\_

9. Допустить \_\_\_\_\_ к защите проекта (работы) в экзаменационной  
комиссии (протокол заседания кафедры № от “\_\_\_” 201\_\_ г.).

Зав. кафедрой \_\_\_\_\_

**Пример оформления содержания  
научно-исследовательской работы бакалавра**

Задание	
Содержание	
Реферат.....	3
Перечень листов графических документов .....	4
Перечень условных обозначений, символов, единиц и сокращений .....	5
Введение .....	6
Цель работы.....	7
Научная новизна.....	7
Практическая значимость .....	7
1. Литературный обзор .....	8
2. Глава 1. Синтез тиадиазолов .....	19
3. Глава 2. Экспериментальная часть .....	32
4. Выводы .....	36
5. Технологическая часть .....	37
5.1. Характеристика готовой продукции .....	37
5.2. Характеристика сырья и материалов .....	38
5.3. Описание технологического процесса .....	39
5.4. Расчет материального баланса .....	45
5.5. Технологические расчеты основного оборудования .....	48
5.6. Ведомость-спецификация оборудования .....	50
6. Безопасность жизнедеятельности .....	53
7. Затраты на выполнение научно-исследовательской работы .....	61
Заключение .....	67
Библиографические ссылки .....	68
Приложения .....	70

## Пример оформления содержания технологической работы бакалавра

Задание	
Содержание	
Реферат .....	4
Перечень листов графических документов .....	5
Перечень условных обозначений, символов, единиц и сокращений .....	6
Введение .....	7
1. Аналитический обзор литературы .....	8
1.1. Характеристика объекта производства .....	8
1.2. Характеристика сырья для производства пива .....	9
1.3. Принципиальная технологическая схема производства пива .....	12
1.4. Основные тенденции в развитии технологии пивоваренных заводов .....	14
1.5. Выводы по аналитическому обзору литературы .....	15
1.6. Изменения и усовершенствования, внесенные в технологию .....	16
2. Описание технологического процесса .....	17
2.1. Характеристика готовой продукции .....	17
2.2. Характеристика сырья и материалов .....	18
2.3. Блок-схема производства .....	19
2.4. Описание технологического процесса .....	20
2.5. Контрольные точки производства .....	26
3. Расчет материального баланса .....	27
3.1. Ознакомление с объектом расчета .....	27
3.2. Исходные данные для расчета .....	27
3.3. Расчет МБ по узлам (стадиям производства) .....	28
4. Технологические расчеты основного оборудования .....	40
4.1. Основное оборудование .....	41
4.2. Вспомогательное оборудование .....	45
4.3. Ведомость спецификации оборудования .....	48
5. Безопасность жизнедеятельности .....	50
6. Экономическая эффективность .....	60
Заключение .....	66
Библиографические ссылки .....	67
Приложения .....	69

## Пример оформления реферата ВКР бакалавра

### Реферат

Выпускная квалификационная работа бакалавра:

Биосинтез эритромицина

Стр. 70, рис. 9, табл. 10, библиогр. назв. 20.

Антибиотики, эритромицин, ферментация, продуцент, активность, посевной материал, питательная среда, технология, теххимические расчеты, себестоимость.

Составлен аналитический обзор литературы по свойствам, области применения и методам биосинтеза эритромицина. Описан технологический процесс получения эритромицина, существующий на АКО «Синтез» (г. Курган), и дан его технико-экономический анализ.

Внесены предложения по усовершенствованию процесса ферментации эритромицина, а именно: с целью повышения выхода антибиотика предложено в питательную среду добавлять поливитаминный препарат; на стадии выделения эритромицина экстракторы типа «Россия» предложено заменить на более производительные экстракторы типа «Хитачи».

Произведен расчет материального баланса производства, выполнены технологические расчеты основного и вспомогательного оборудования. Составлена аппаратурная схема производства и дано описание технологического процесса.

Приведены мероприятия по безопасности жизнедеятельности.

Технико-экономические расчеты показали, что усовершенствования, внесенные в действующее производство, позволяют снизить себестоимость продукции на 2 % и получить годовой экономический эффект 20 млн руб.

**Пример составления перечня листов графических документов по классификатору ЕСТД**

**Перечень листов графических документов**

№ п/п	Наименование документа	Количество листов	Обозначение документа	Формат
1	Аппаратурная схема	2	18.03.01 24 3640 000 АС	A1
2	Реактор-нитратор	1	18.03.01 36 1540 000 СБ	A1
3	Технико-экономические показатели производства	1	18.03.01 24 3640 000 ТБ	A1

**Пример оформления перечня  
условных сокращений**

Перечень условных обозначений, символов,  
единиц и сокращений

Б/р	—	безразмерная
В-во	—	вещество
ВМР	—	вторичные материальные ресурсы
Гл	—	галлон (3,785 л)
Дал	—	декалитр (10 л)
Масс.	—	массовые (проценты)
МИ	—	материальный индекс
Об.	—	объемные (проценты)
Р. м.	—	реакционная масса
С/с	—	себестоимость

**Пример оформления таблицы  
«Характеристика сырья, материалов  
и полупродуктов»**

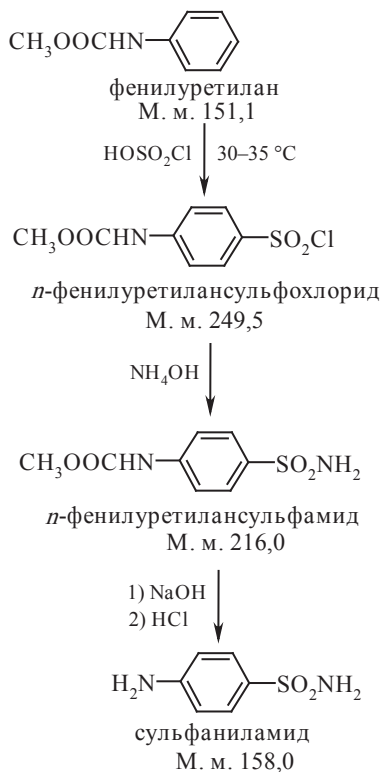
*Таблица №*

**Характеристика сырья, материалов и полупродуктов**

Наименование	Обозначение НТД	Сорт или артикул	Показатели, обязательные для проверки	Примечание
<b>А. Сырье</b>				
1. Кислота серная	ГОСТ 4204–77	Реакт., х. ч.	Массовая доля > 93,8 %	Со склада
2. Формалин	ГОСТ 1625–75	Сорт 1	Массовая доля > 37,0 %	Со склада
3. Натр едкий очищенный	ГОСТ 1078–78	Марка РХ–1	Массовая доля > 45,0 %	Со склада
<b>Б. Полупродукты</b>				
Дисульфан	СТП–СЗМ 4.21–76	Техн.	$T_{пл}$ 181–182 °С	Из цеха № 1
<b>В. Материалы</b>				
1. Фильтро- диагональ	ТУ 17–40–85	Арт. 2074	—	Со склада
2. Бязь х/б	ГОСТ 11680–76		—	Со склада

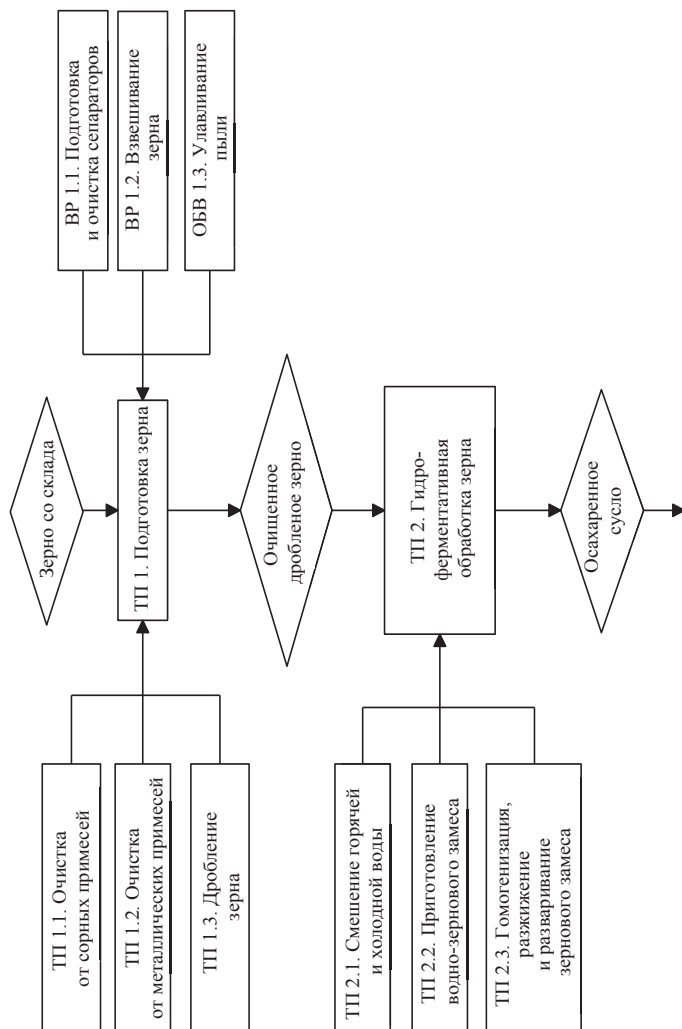
## Пример изображения химической схемы производства

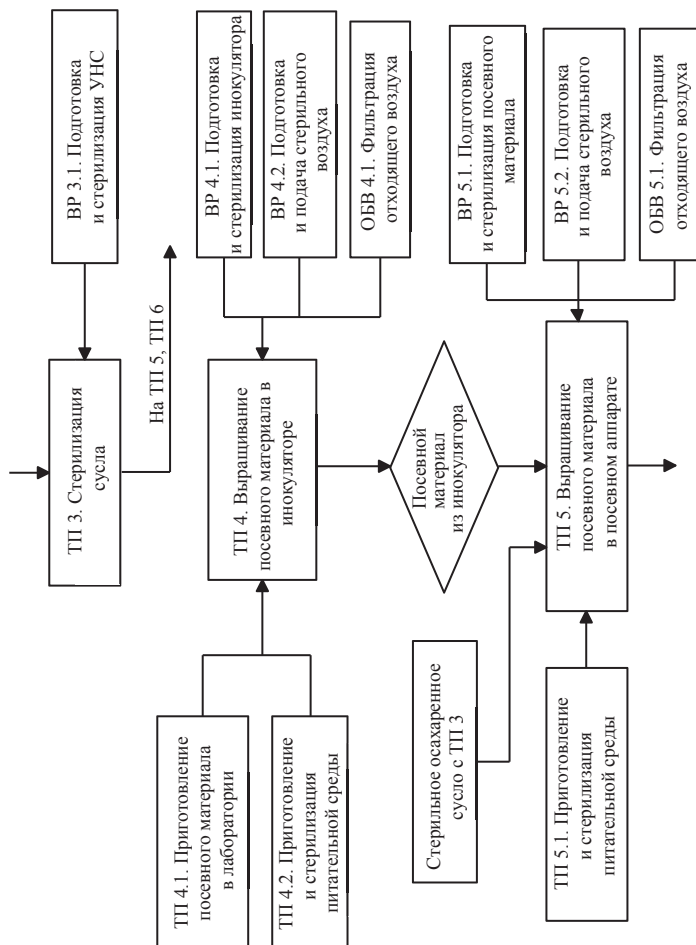
Химическая схема получения сульфаниламида

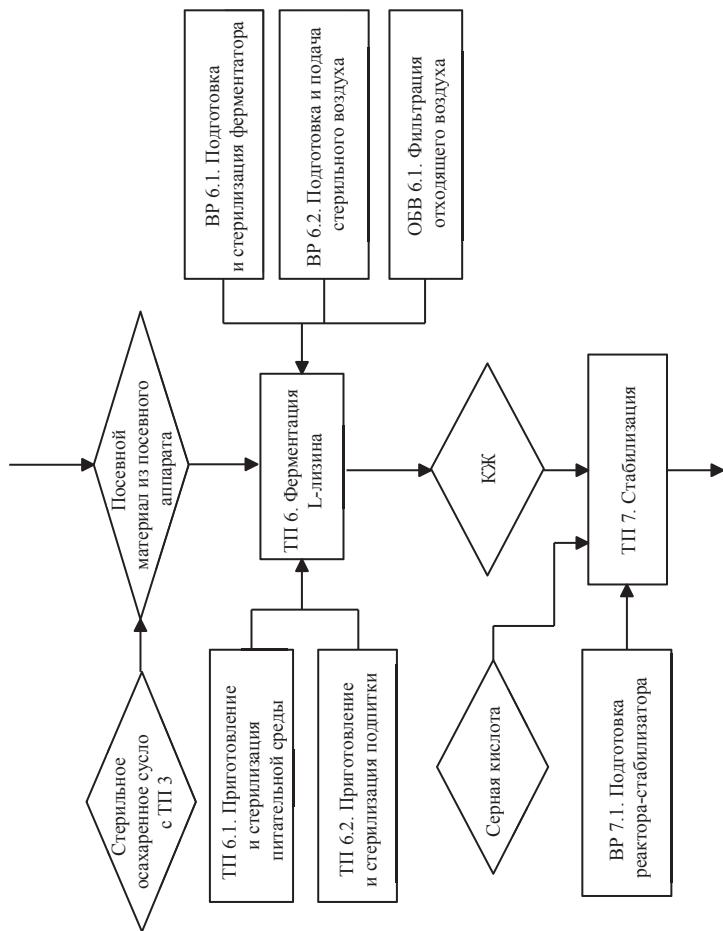


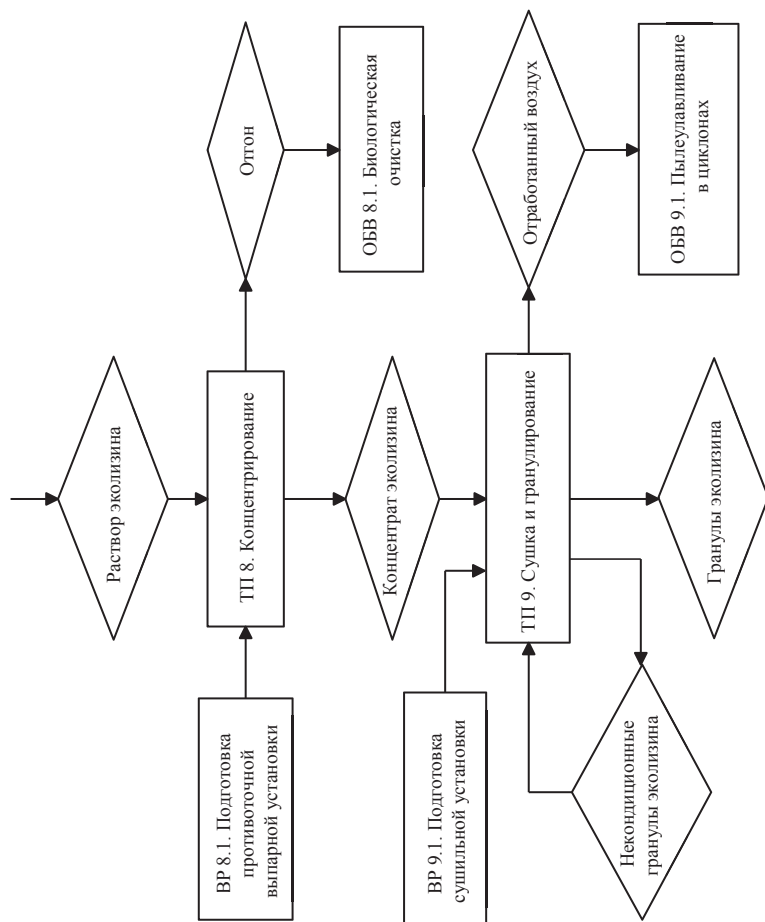


### Пример оформления технологической схемы (блок-схемы) процесса Технологическая схема стадии осахаривания в производстве спирта










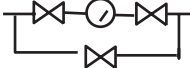




## Приложение 11

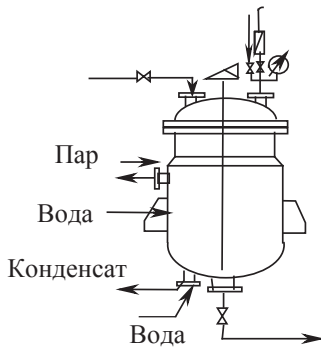
### Условные обозначения оборудования на аппаратурных схемах

*Трубопроводная арматура и механические устройства*

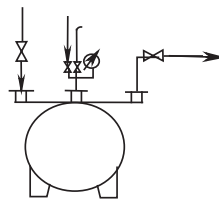
	Кран
	Вентиль
	Связь с атмосферой (воздушка)
	Огнепреградитель
	Смотровой фонарь
	Конденсатоотводчик

**Пример оформления элементов  
аппаратурной схемы**

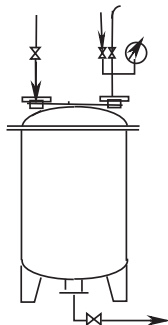
*Емкостная аппаратура, реакторы с рубашкой,  
сборники, мерники*



Реактор с рубашкой



Сборник

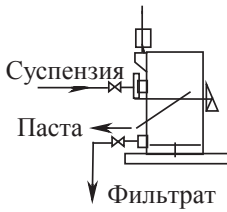


Сборник

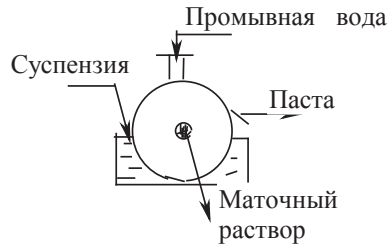


Мерник

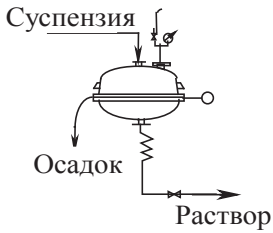
Фильтровальное оборудование



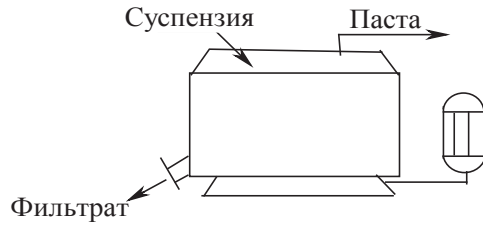
Центрифуга  
типа ФГН



Барабанный вакуум-фильтр

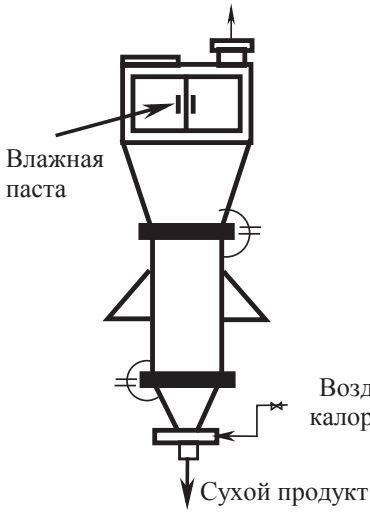


Друк-фильтр

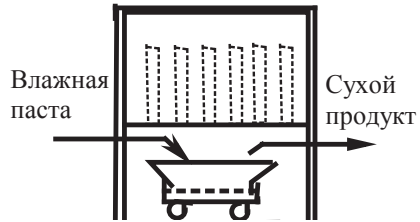


Центрифуга маятниковая  
с верхней выгрузкой осадка

Сушилки

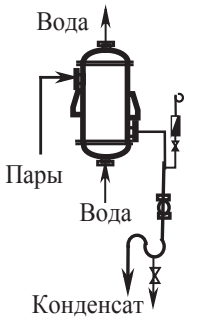


Пневматическая сушилка

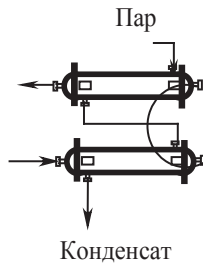


Сушилка типа СП

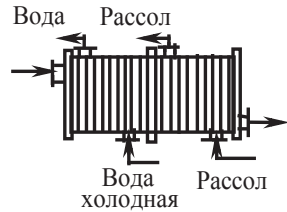
Теплообменники



Кожухотрубный



Труба в трубе



Пластиначный  
двухсекционный



## Пример оформления таблицы «Контрольные точки производства»

Таблица №

### Контрольные точки производства биоспорины

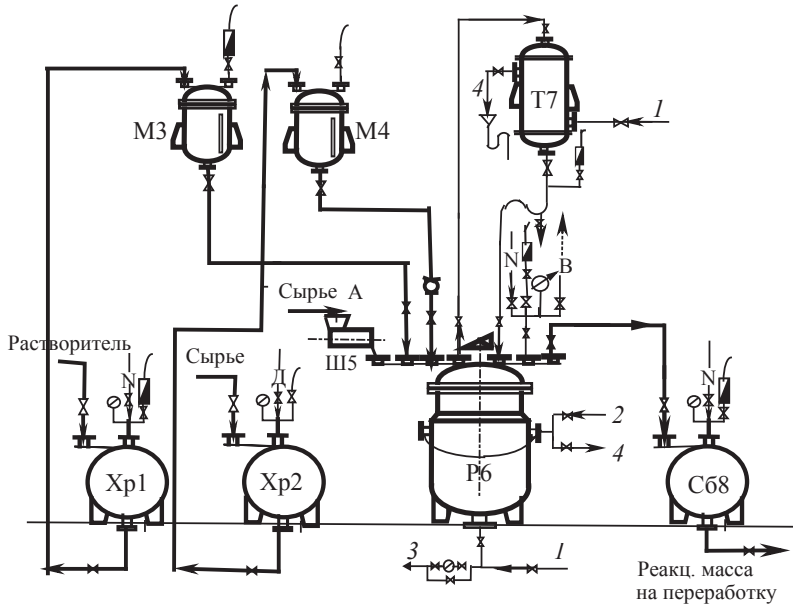
№ п/п	№ стадии	Объект контроля	Средство контроля	Контролируемый параметр	Регламентированный норматив
КТ-1	ВР 1.2	Конденсат	Микрокопирование	Стерильность	—
КТ-2	ТП 1.1	Питательная среда № 4	pH-метр, микрокопирование	pH, стерильность	7,2 ед. pH, стерильна
КТ-3	ТП 1.1	Питательная среда № 4 с добавками	pH-метр, микрокопирование	pH, стерильность	7,2 ед. pH, стерильна
КТ-4	ТП 1.1	Питательная среда № 4 с введенным посевным материалом	Подсчет клеток в камере Горяева	Количество клеток, в мл Наличие посторонней микрофлоры	1 · 10 <sup>6</sup> Отсутствует
КТ-5	ТП 1.2	Готовая микробная масса <i>B. subtilis</i> 3	Термометр сопротивления pH-метр, микрокопирование, УФ-спектрометр, подсчет клеток в камере Горяева	T, °C pH Посторонняя микрофлора Оптическая плотность	30 ± 1 5,6 ед. pH Не содержится Не менее 2 ед. E
КТ-6	ТП 2.1	Концентрированная микробная масса <i>B. subtilis</i> 3	Микрокопирование, подсчет клеток в камере Горяева	Количество клеток, в мл Наличие посторонней микрофлоры Массовая доля сухих веществ Количество клеток, в мл	Не менее 1 · 10 <sup>9</sup> Отсутствует Не более 25 % 1 · 10 <sup>11</sup>

## Образец оформления ведомости-спецификации аппаратуры и КИПиА

### Ведомость-спецификация оборудования и КИПиА

Наименование	Количество единиц	Материал рабочей зоны, способ защиты	Техническая характеристика
1	2	3	4
П-12 Посевной аппарат	3	Сталь 12X18Н10Т	ГОСТ 20680–85. Сварной цилиндрический аппарат с паровой рубашкой. Вместимость аппарата 1,0 м <sup>3</sup> . Обогрев и охлаждение через рубашку. Аппарат снабжен трехъярусной мешалкой и магнитным приводом, барботером, нижним сливом, устройством для взятия проб и ввода добавок. Рабочее давление в корпусе и рубашке 0,3 МПа. Загрузка самотеком, выгрузка давлением. Габаритные размеры 1300 × 860 × 600 мм, масса 250 кг. Частота вращения мешалки от 0,17 до 11,3 с <sup>-1</sup>
М-15 Мерник для уксусной кислоты	1	Сталь/эмаль	СЭН-0,040-1-02-02. Вместимость 1 м <sup>3</sup> . Мерник стальной эмалированный с нижним сливом, мерным устройством, универсальным стекломалевым покрытием, вертикальный. Загрузка с помощью вакуума, выгрузка самотеком
Н-25 Насос центробежный	2	Сч 18-36	Тип 3КМ-6. Производительность: 45 м <sup>3</sup> /ч
Т12-3 Манометр технический	1	Сборный	ГОСТ 8625–77. Тип ОБМ-1-100. Класс точности 2,5. Пределы измерения 0–1,0 МПа

### Пример оформления аппаратурной схемы



Условные обозначения  
энергоносителей:

- 1 — вода оборотная холодная
- 2 — пар
- 3 — конденсат
- 4 — вода оборотная теплая
- N — сжатый азот
- Д — сжатый воздух
- В — вакуум

Позиции оборудования:

- Xp1 — хранилище растворителя
- Xp2 — хранилище сырья «А»
- M3 — мерник растворителя
- M4 — мерник сырья «А»
- Ш5 — шнековый питатель
- P6 — реактор
- T7 — теплообменник
- C68 — сборник продуктов реакции

Учебное издание

Безматерных Максим Алексеевич

Бельская Наталия Павловна

Мокрушин Владимир Степанович

ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ,  
БИОТЕХНОЛОГИЯ:  
СОДЕРЖАНИЕ И ОФОРМЛЕНИЕ  
ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ  
РАБОТЫ БАКАЛАВРА

Учебно-методическое пособие

Заведующий редакцией *М. А. Овечкина*

Редактор *С. Г. Галинова*

Корректор *С. Г. Галинова*

Компьютерная верстка *Н. Ю. Михайлов*

План выпуска 2017 г. Подписано в печать 02.10.2017.

Формат 60 × 84 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Бумага офсетная. Гарнитура Times.

Уч.-изд. л. 6,7. Усл. печ. л. 7,7. Тираж 50 экз. Заказ № 240.

Издательство Уральского университета  
620000, Екатеринбург-83, ул. Тургенева, 4

Отпечатано в Издательско-полиграфическом центре УрФУ  
620000, Екатеринбург-83, ул. Тургенева, 4

Тел.: +7 (343) 350-56-64, 358-93-22

Факс: +7 (343) 358-93-06

E-mail: [press-urfu@mail.ru](mailto:press-urfu@mail.ru)

<http://print.urfu.ru>

